



Vesa Laaksonen

Viemäriverkoston mittaaminen ja luotettavuuden arviointi

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 26.11.2015
Valvoja: Professori Riku Vahala
Ohjaaja: DI Tuija Laakso

Tekijä Vesa Tuomas Laaksonen

Työn nimi Viemärivertaaman mittaaminen ja luotettavuuden arviointi

Koulutusohjelma Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

Pää-/sivuaaine Vesi- ja ympäristötekniikka/LVI-
tekniikka

Koodi Yhd-73

Työn valvoja Prof Riku Vahala

Työn ohjaaja(t) DI Tuija Laakso

Päivämäärä pp.11.2015

Sivumäärä 88

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Viemäriverkoston virtaamatieto on vesihuoltolaitoksille olennainen tieto, sillä sen avulla voidaan tehdä johtopäätöksiä viemäriverkoston toimivuudesta. Viemärivertaamaa voidaan mitata siirrettävillä tai kiinteästi asennettavilla virtaamamittareilla. Lisäksi virtaamatietoja saadaan usein jäteveden pumppaamoilta. Virtaaman mittaamiseen liittyy kuitenkin aina virhelähteitä. Tässä diplomityössä selvitetään virheellisen virtaamadatan syitä ja esitellään keinoja, joilla datan laatu voidaan taata.

Tavallisimmat tavat viemärivertaaman määrittämiseen ovat virtaamamittaus magneettimittarilla ja pumppaamoilla astiamittaus ja pumppujen tuottokäyristä laskettuvirtaama. Lisäksi virtaamaa voidaan mitata siirrettävällä ultraäänimittarilla. Pumppaamadatan luotettavuuteen vaikuttavat mittarien oikea asennus, virtauksen laatu ja toimiva tiedonsiirto. Astiamittauksen tarkkuus riippuu pumppaamon automaatiojärjestelmiään asetetuista parametriarvoista, joita ovat imukaivon pohjan pinta-ala ja pinnankorkeus.

Työssä verrattiin Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut-kuntayhtymältä saatuja, eri määrittystapoihin perustuvia virtaamalukemia samalta pumppaamolta. Magneettimittaus on yleisesti tarkin ja luotettavin mittausmenetelmä, mutta sen ottaminen käyttöön nopeasti kaikilla pumppaamoilla ei ole mahdollista.

Keskeisimmät keinot virtaamadatan laadun varmistamiseksi ovat magneettimittarin ja ultraäänimittarin osalta mittarin oikea asennus. Astiamittauksessa ja nimellistuottoarvomenetelmässä datan laatu saadaan oikeiden parametrien asettamisella pumppaamon automaatiologiikkaan. Astiamittauksen lukema riippuu logiikan parametriarvoista ja nimellistuotto pumppujen omasta nimellistuottoarvosta. Lisäksi tiedonsiirto vaikuttaa tietojen luotettavuuteen menetelmästä riippumatta. Tiedonsiirrossa tapahtuva katko voi aiheuttaa virtaamadataan mahdollisia lukemia (outliereita). Katkot olivat yleisin syy virheelliseen virtaamadataan analysoiduissa tapauksissa.

Avainsanat jätevesi, pumppaamo, automaatio, logiikka, virtaama, mittaus

Author Vesa Tuomas Laaksonen

Title of thesis Measurement of Sewer Flow and Assessment of Reliability

Degree programme Civil- and Environmental Engineering

Major/minor Water- and Environmental Engineer-
ing/HVAC-Engineering

Code Yhd-73

Thesis supervisor Professor Riku Vahala

Thesis advisor(s) M.Sc.Eng Tuija Laakso

Date dd.11.2015

Number of pages 88

Language Finnish)

Abstract

Measurement of sewer flow is an essential information for water and wastewater utilities, because with it one can make conclusions about the functioning of the sewer network. Sewer flow can be measured with moveable or fixed flow meters. Flow data can also be obtained from wastewater pumping stations. Many factors can cause errors to flow data. This master's thesis investigates the reasons for faulty flow data and presents methods, how the quality of the data can be assured.

The most common methods for measuring flow are flow measurement with magnetic flow meter or container measurement and flow measurement based on yield curves of pumps at pumping stations. Flow measurement can also be made by moveable ultrasonic meter. Pumping station data's reliability is affected by the right installation of meter, the quality of flow and working data transfer. The accuracy container measurement depends on parameters set in the pumping station's automatic system, which are layout area and height of surface.

In this thesis, a comparison is made on different flow measurement methods from the same pumping station obtained from Helsinki Region Environmental Services Authority. Magnetic flow measurement is found to be the most accurate and reliable measurement method, but installing it at in every pumping station is not possible in short term.

The central means of assuring the quality of flow data with magnetic flow meter and ultrasonic flow meter are the correct installation of the meter and. With container measurement and yield curve measurement the quality is assured by setting the correct parameters to the pumping stations automatic system logic. The quality of all flow data depends on the quality of data transfer. Blackouts in data transfer can result in obvious outliers in flow data. Blackouts were the most common reason for faulty flow data within the analysed cases.

Keywords wastewater, lift station, automation, logic, flow, measurement

Alkusanat

Tähän diplomityön aiheeseen päädyttiin Aalto-yliopiston Efesus-projektissa huomattuihin virheisiin ja epäluotettavuuteen jäteveden pumppaamoiden virtaamadatassa. Haluttiin selvittää, mistä nämä virheet johtuvat ja kuinka tilannetta voidaan parantaa. Työtä varten on tehty yhteistyötä Helsingin Seudun Ympäristöpalveluiden kanssa ja haastateltu aiheeseen perehtyneitä henkilöitä. Työn ohjaajana ja aiheen ideoijana on toiminut diplomi-insinööri Tuija Laakso ja työn valvojana professori Riku Vahala.

Kiitokset Helsingin Seudun Ympäristöpalveluille, etenkin Perttu Saariselle ja Tomi Lukkariselle, kaikesta avusta, saaduista virtaamadatoista ja haastattelusta. Kiitokset myös Finnish Consulting Groupin suunnittelupäällikkö Jarmo Antikaiselle haastattelusta ja myös Insta Automationin Jyri Stenbergille haastattelusta. Kiitokset myös vaimolleni Jenna Kärpäselle kaikesta tuesta työn aikana.

Hyvinkää 26.11.2015

Vesa Laaksonen

Sisällysluettelo

1.	Johdanto	7
2.	Miksi virtaamaa mitataan?	8
3.	Jätevedenpumppaamot	11
3.1.	Pumppaamon tarve	11
3.2.	Pumppaamorakennus	12
3.3.	Pumput	14
3.3.1.	Keskipakopumppu	15
3.3.2.	Pneumaattiset nostolaitteet	18
3.3.3.	Ruuvipumput	18
3.3.4.	Pumppujen ominaiskäyrät	19
3.4.	Pumppaamon automaatiojärjestelmät	20
3.4.1.	Automaatiojärjestelmien kasvu ja kehitys	21
3.4.2.	Automaatiojärjestelmät	21
3.4.3.	Tiedonsiirto	25
4.	Virtausmittarit ja mittausmenetelmät	28
4.1.	Magneettimittari	28
4.2.	Ultraäänimittari	31
4.3.	Astiamittaus pumppaamoissa	33
4.4.	Nimellistuottoarvot	35
4.5.	Muita menetelmiä	35
4.5.1.	Laser Doppler-nopeusmittari	35
4.5.2.	Siivikkomittari	36
4.5.3.	Coriolis- massavirtaamamittari	37
5.6.	Yhteenveto mittautavoista	39
5.	Yleiset virhelähteet	41
5.1.	Virtaustyyppin vaikutus	41

5.2. Pumppaamon ominaisuudet	43
5.3. Mittareiden vaikutus	44
5.4. Automaatiojärjestelmän virhelähteet	44
5.5. Virtaamadatan tavallisimmat virhetyypit	47
6. HSY:n pumppaamoiden esimerkkiesittelyt	49
7. HSY:n pumppaamoiden virtaamadatan analysointi	63
7.1. Virtaamadata yleisesti	63
7.2. Analysoitavien pumppaamoiden tiedonsiirto	65
7.3. Virtaamadatojen trendi	68
7.4. Virtaamadatan analysointi	73
7.4.1. Piispankyläntie	73
7.4.2. Jokivarsi	75
8. Virtaamadatan luotettavuus ja sen parantaminen	78
8.1. Mittauksen virhelähteet	78
8.2. Vuotovesien vaikutus virtaamadataan	79
9. Yhteenveto	82
Lähteet	84
Haastattelut ja julkaisemattomat tutkimukset	86
Liitteet	88

1. Johdanto

Jätevesivirtaaman mittaaminen viemäriverkostossa on olennaista, sillä virtaamati-tojen avulla voidaan arvioida, kuinka hyvin verkosto toimii. Vesi- ja viemärilai-tokset käyttävät virtaamadataa esim. selvittämään viemäriverkostossa verkoston kapasiteetin riittävyyttä tai vuotovesien määrää.

Viemärivirtaamia on mahdollista mitata erillisellä virtaamamittarilla tai selvittää pumppaamojen kaukokäyttötiedoista. Pumppaamot ovat otollinen paikka kerätä virtaamadataa, koska niihin voidaan asentaa tarvittavat menetelmät virtaaman mit-taamiselle.

Tämän diplomityön tarkoitus on toimia tietopakettina vesi- ja viemärilaitoksille siitä, miksi virtaamadata voi olla epäluotettavaa ja esittää keinoja, kuinka virtaa-madataa voidaan saada tehtyä luotettavammaksi. Työssä esitellään jäteveden-pumppaamoiden toimintaa automaatioympäristössä, erilaisia virtaamalle tarkoitet-tuja mittausmenetelmiä ja tutkitaan jätevedenpumppaamoilta saatua virtaamadataa, ja niiden perusteella pyritään selvittämään syitä virtaamadatan epäluotettavuudelle. Lisäksi työssä on tehty data-analyysi kahdelta eri Helsingin Seudun Ympäristöpal-veluiden pumppaamoilta ja sen perusteella tehty arviota pumppaamoiden virtaa-madatan laadusta.

2. Miksi virtaamaa mitataan?

Virtaama on vesihuoltolaitosten toiminnan välttämätön perustieto, jotta vesihuoltoverkostojen toimintaa voidaan suunnitella, ohjata ja ymmärtää. Viemäriverkoston toiminta on riippuvainen verkostossa virtaavasta jäteveden määrästä. Viemäriverkosto pyritään suunnittelemaan siten, että se kykenee johtamaan sallitun maksimivirtaaman ilman ylivuotoja tai muita ongelmia. Kun virtaaman arvoa mitataan, pystytään selvittämään verkoston toiminnan laatua ja siihen mahdollisesti liittyviä ongelmia. Esimerkiksi virtaamilla voidaan arvioida hule- tai vuotovesien vaikutusta jätevesiverkostoon. Virtaamatietoja voidaan myös hyödyntää verkostomallinnuksen lähtötietoina (Antikainen, J. 2015).

Jotta viemäriverkoston toimintaa voidaan ymmärtää, täytyy virtaamien suuruudet tuntea keskeisiltä kohdin. Ylivuodot voivat johtua monista eri syistä, kuten esimerkiksi pumppuun tulleista häiriöistä tai pumppaamon kapasiteetin ylittymisestä. Ennen kaikkea pumppaamot ovat olennaisia siksi, että niillä on yleisesti jo tekniikka valmiina virtaaman mittaamiseen. Näin ollen verkostossa on jo mittauspisteitä ympäri verkkoa. Eräs mittauksen sovellusesimerkki on virtaamajaksojen huippuarvojen mittaaminen, jolla voidaan määrittää putkien kapasiteetin määrää ja kuinka paljon sitä on jäänyt käyttämättä. Lisäksi virtaaman huippuarvojen avulla voidaan paikallistaa pohjaveden tunkeutumista viemäriverkkoon. (Hammer & Hammer 2008)

Moni tekijä hankaloittaa viemäriveraamien luotettavaa määrittämistä. Virtaamaolosuhteet vaihtelevat viemäreissä nopeasti, viemäreissä tapahtuu ylivuotoja ja lisäksi sedimenttejä ja kiintoainesta päätyy viemäreihin. Myös putkien koilla ja kaltevuusasteilla on vaikutuksensa. Putkien koot ja niiden kaltevuus vaikuttavat virtauksen nopeuteen. Ympäristölliset tarpeet sekä viemäri- ja hulevesien optimaalinen käsitteleminen ovat lisänneet mahdollisimman tarkan virtaamatiedon tarvetta. Vuosien saatossa tekniikka on kehittynyt sen verran, että tarkan virtaamatiedon saaminen on helpottunut. (Quevauviller et al. 2006)

Virtaaman mittaaminen putkistoissa on vaikeaa, koska maanalaisiin putkiin on hankala asentaa virtaamamittaria. Lisäksi virtaaman mittaus viemärikaivosta on haastavaa, koska virtausolosuhteet vaihtelevat kaivo-olosuhteissa merkittävästi. Mittari olisi helpointa asentaa putken asennusvaiheessa, mutta näin ei juurikaan

tehdä. Virtaamaa viemäreissä voidaan arvioida virtauksen syvyyden avulla käyttämällä Manningin kaavaa (Hammer & Hammer 2008).

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (1)$$

- Q = virtaama (m^3/s)
- n = materiaalin karheuskerroin
- A = poikkipinta-ala (m^2)
- R = hydraulinen säde (m)
- S = kaltevuus

Jotta kaavaa 1 voidaan käyttää virtaamaa arvioidessa, putken kaltevuus on tunnettava.

Sadevedet ja lumen sulamisesta aiheutuva sulamisvesi ovat tyypillisiä syitä viemäriverkoston kapasiteetin ylittymiselle. Nämä vedet eivät kuulu viemäriverkkoon, ellei kyseessä ole sekaviemäri. Tämän mahdollisen viemäriin tunkeutuvan veden määrä vaihtelee todella paljon yleisen sadannan ja sulamisveden määrän mukaan. Kajaanin Vesi (2008) suoritti virtaamamittaustutkimuksen eräällä asuinalueella tarkoituksena selvittää, miksi viemäriverkosto on osoittautunut ajoittain riittämättömäksi kevään sulamisvesien vuoksi. Syyksi epäiltiin viemäriverkoston olevan kapasiteetiltaan riittämätön, mutta tutkimuksessa selvisi, että todellinen syy oli pumppaamoiden kapasiteetin ylittyminen sulamis- ja hulevesien vuoksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että pumppaamot eivät kykene pumppaamaan jätevettä tarpeeksi tehokkaasti, kun pumppujen pumppauskapasiteetti ylittyy ylimääräisen veden vuoksi.

Viemäriverkon vesitaseen seuranta on ajoittain ongelmallista, koska viemäriin virtaa asumis- ja teollisuusjätevesien lisäksi myös ulkopuolisia vuotovesiä. Pahimmassa tapauksessa vuotovesiä saattaa virrata viemäriin jopa enemmän kuin varsinaisia jätevesiä. (RIL 237-1, 2010)

Muita syitä viemärivirtaaman mittaamiseen ja valvontaan on esim.: (Quevauviller et al. 2006):

- Kunnallisissa viemäriverkostoissa viemärivirtaaman valvonnan avulla voidaan kohdistaa kustannukset oikein kuntien tms. välillä

- Antaa dataa hydraulisen mallin kalibrointiin ja numeeristen mallien todennuksiin.

Pumppaamoautomaatiikan yhteydessä puhutaan usein pumppaamolle tulevasta ja sieltä lähtevästä virtaamasta. Pumppaamolle tulevan virtaaman arvon mittaaminen on tärkeää silloin, kun halutaan pysyä selvillä verkoston kunnosta ja toimivuudesta. Pumppaamolta lähtevän virtaaman mittaaminen kertoo lähinnä pumppaamon pumppujen toiminnan luotettavuudesta. (Antikainen, J. 2015)

Pumppaamolle tulevan virtaaman mittaaminen on hankalaa, koska pumppaamolle tuleva vesi ei kulje paineputkessa. Jotta virtaamaa voidaan putkessa mitata luotettavasti, putken tulisi virtaa kuitenkin täytenä. Lähtevän virtaaman tunteminen riittää kun halutaan pysyä selvillä pumppujen toiminnasta. (Saarinen, P. & Lukkari-nen, T. 2015)

Pumppaamoilta saatavia virtaamatietoja ei tällä hetkellä hyödynnetä laajasti. Pumppaamoissa oleva automaatio on rakennettu lähinnä vain pumppaushallintaa varten. Tulevaisuuden kannalta automaatioita pyritään kehittämään siten, että pumppaamoilta saatavaa virtaamadataa aletaan hyödyntämään laajemmin, esimerkiksi vuotovesilaskennassa ja verkostomallinnuksessa. (Antikainen, J. 2015)

3. Jätevedenpumppaamot

Tässä kappaleessa esitellään jätevedenpumppaamon toimintaa ja sen eri rakennevaihtoehtoja. Lisäksi kappaleessa kerrotaan eri jäteveden pumppaukseen käytettävistä pumpuista ja pumppaamoiden automaatiojärjestelmistä.

3.1. Pumppaamon tarve

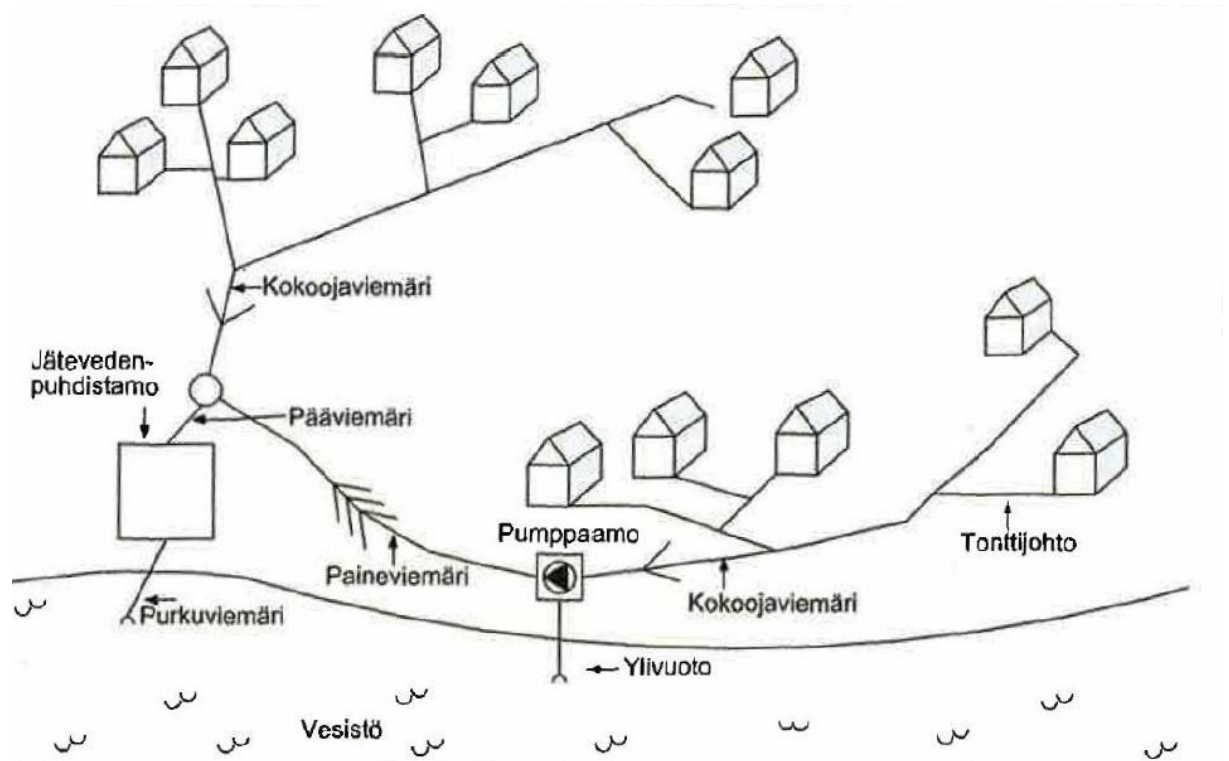
Jätevesipumppaamot ovat olennainen osa viemäriverkostoa ja sen toimintaa. Jätevedet johdetaan viemäriverkoston avulla jätevedenpuhdistamolle. Tyypillisesti jätevesi virtaa viemäreissä pääasiassa gravitaatiovoiman avulla, eli ilman pumppuja tai muita apuvälineitä. Maan pinnanmuotojen vuoksi viemäriverkoston voi harvoin rakentaa siten, että vesi johdettaisiin alusta loppuun pelkästään gravitaatiovoiman avulla. Siksi viemäriverkostoon täytyy rakentaa pumppaamoita, joiden avulla vesi voidaan tarpeellisissa kohdin nostaa ylemmäs. (Karttunen, 2004)

Jäteveden pumppaustarve tulee kysymykseen lähinnä seuraavissa tapauksissa (Karttunen 2004):

- Viemärivedet halutaan johtaa vedenjakajien yli, jolloin pumppaamo saattaa tulla edullisemmaksi kuin syvälle rakennettu viemäri tai viemäritunneli.
- Maaston ollessa tasainen ja viemäripituuden suuri, on usein käytettävä pumppausta tarvittavan kaltevuuden aikaansaamiseksi viemäreissä.
- Viemärivesi on siirrettävä vesistön toiselle puolelle
- Puhdistamoiden yhteydessä viemärivesi on useimmissa tapauksissa pumpattava tarpeellisen korkeuseron aikaansaamiseksi veden virtaamiselle eri puhdistusvaiheiden lävitse.
- Jätevesi on johdettava katuviemäriin, joka on viemäroitävää kohtaa ylemmänä

Pumppaamoiden ja paineviemäriosuuksien avulla pystytään välttämään kalliit ja vaikeasti korjattavissa olevat putkiosuudet (RIL 237-1, 2010)

Kuvassa 1 on esitetty kaaviokuva viemäriverkoston yleisestä rakenteesta. Rakenteessa on kuvattu yksi mahdollinen sijoituspaikka pumppaamolle.



Kuva 1. Jätevesiverkon osat. (Vesihuoltoverkkojen suunnittelu: RIL 237-1-2010)

Pumppaamot ovat yleisesti kalliita rakentaa ja ne vaativat säännöllistä tarkastusta ja huoltoa. Rikkoutuessaan ne voivat olla myös haitaksi ympäristölle, koska silloin ne saattavat aiheuttaa hajuhaittoja ja ylivuotoja. Näistä syistä pumppaamoiden rakentamista pyritään välttämään aina kun se on mahdollista. Tarkalla suunnittelulla ja sopivalla jätevedenpuhdistamon sijoituksella pumppaamoiden tarvetta voidaan vähentää merkittävästi. (Hammer & Hammer 2008)

3.2. Pumppaamorakennus

Jätevesipumppaamot voivat olla isoja betonipumppaamoja tai kompakteja pakettipumppaamoita (Saarinen, P. 2015). On myös mahdollista rakentaa pumppaamo kokonaan tehdasvalmisteisista teräslevyistä. Pumppaamorakennukset rakennetaan tavallisesti niin suuriksi, ettei niitä tarvitse laajentaa tulevaisuudessa. Tämä johtuu siitä, että vesitiiviiden maanalaisten rakenteiden takia pumppaamon laajentaminen on vaikeaa. (Karttunen, 2004)

Jätevedenpumppaamoja suunnitellessa on huomioitava monta eri asiaa. Näitä asioita ovat muun muassa (Walski et al. 2007):

- pumppauksen tarve
- pääjohdon koko

- pumppujen määrä
- pumppaamon tyyppi (uppo-, märkä- tai, kuiva-asennus)
- imukaivon koko
- hajuhallinta

Jätevedenpumppaamon peruskomponentit ovat tuloputki, joka voi olla joko paineellinen tai gravitaatioon perustuva, imukaivo tulevan virtaaman keräämiseen ja varastointiin, imukaivon imuputket, joilla yhdistetään pumpput imualtaaseen, pumpun moottorit pumpun hallintalaitteet ja paineellinen pääjohto, joka yhdistetään takaisin viemäriverkkoon. (Walski et al. 2007)

Pumppaamorakennus voidaan tehdä joko osittain tai kokonaan maanalaiseksi. Maanpinnan yläpuolella oleva pumppaamon rakennus on hoidon ja valvonnan kannalta parempi vaihtoehto kuin kokonaan maanalainen pumppaamo. Maanalaisiin pumppaamoihin käynti tapahtuu kannessa olevan luukun kautta. Lisäksi niistä puuttuu luonnollinen valaistus, joka osaltaan lisää energian tarvetta. (Karttunen 2004)

Pumppaamon imualtaan tai imukaivon tilavuuden on oltava sen verran suuri, etteivät pumpput joudu epäedullisessakaan käyttötilanteessa käynnistymään useammin kuin 4 - 6 kertaa tunnissa. Imuallas ei kuitenkaan saa olla niin suuri, että viemäri-vesi ehtii pilaantua käynnistysten välillä. Sopiva imualtaan koko on noin 3,5 - 4 -ertainen verrattuna pumppujen tuottoon minuutissa. Imualtaan tehollinen tilavuus on käytännössä säädettävissä pienemmäksi pumppujen käynnistysrajoja muuttamalla. Tämä voi olla tarpeen esimerkiksi imualtaan vesimäärän takia. Vesi tulee pumpata pumppaamosta ennen kuin se joutuu anaerobiseen tilaan. (Karttunen 2004)

Imuallas on yleensä erotettu muusta pumppaamotilasta, mutta harvinaisissa tapauksissa tämä ei ole mahdollista. Imualtaan tarkastusluukut sijoitetaan yleensä pumppaamon ulkopuolelle, mikä helpottaa pumppaamossa tarvittavia puhdistustoimenpiteitä. (Karttunen, 2004)

Imuallas koostuu itse altaasta, tuloputkesta ja pumppujen imuputkista. On tärkeää, että nämä putket toimivat ilman ongelmia. Jos imuputki menee jostain syystä tukkoon, pumpun toiminta häiriintyy ja pumpun tuotto ei ole optimaalinen. On myös

syytä pitää huoli, että pumpun läpi menevä kiinteä aines ei ole liian karkeaa, sillä se voi aiheuttaa pumpun rikkoutumisen. Erityisesti pienissä pumppaamoissa tämä seikka on otettava aina huomioon. (Karttunen, 2004).

Pieniä pumppaamoita varten on hyvä harkita kompaktin pakettipumppaamon hankintaa. Nämä pumppaamot ovat jo valmiiksi suunniteltu ja ne kuljetetaan pumppaamon rakennuspaikalle osissa. Pakettipumppaamoita saa hankittua erilaisilla kokoonpanoilla. Tyypillisesti niihin kuuluvat pumput, moottorit ja hallintalaitteet. (Walski et al. 2007)

Pumppaamossa voi olla monia erilaisia koneita. Koneista tärkeimpiä ovat itse pumput. Lisäksi pumppaamossa voi olla erilaisia esipuhdistuslaitteita, esim. välpät, repijälaitteet ja hiekanerottimeen tarvittavat laitteet. Jos pumppaamolla on esipuhdistuslaitteita, niiden tarkoituksena on poistaa vedestä sellaiset lika-aineet, jotka haittaavat pumppaamon toimintaa. Tärkeintä on, että pumput voivat toimia niin, että ne eivät tukkeudu. Suurissa ja keskikokoisissa pumppaamoissa tukkeutumisvaaraa ei yleensä ole, sillä näiden pumppaamojen pumput ovat niin suuria, että niiden läpi kulkee suuriakin kappaleita. Tällöin esipuhdistus pumppaamolla on joko tarpeeton, tai se suoritetaan käyttämällä karkeaa välppää, joka estää vain suurempien kappaleiden pääsyn pumppaamon imukaivoon. (Karttunen, 2004)

3.3. Pumput

Pumput ovat laitteita, jotka on suunniteltu muuttamaan mekaaninen energia hydrauliseksi energiaksi (Karttunen, 2003). Pumpputyyppejä on useita erilaisia, mutta tässä työssä käydään läpi vain viemäriveden pumppaukseen käytettäviä pumppuja.

Viemäriveden pumppauksessa tulevat kysymykseen lähinnä seuraavat pumpputyypit:

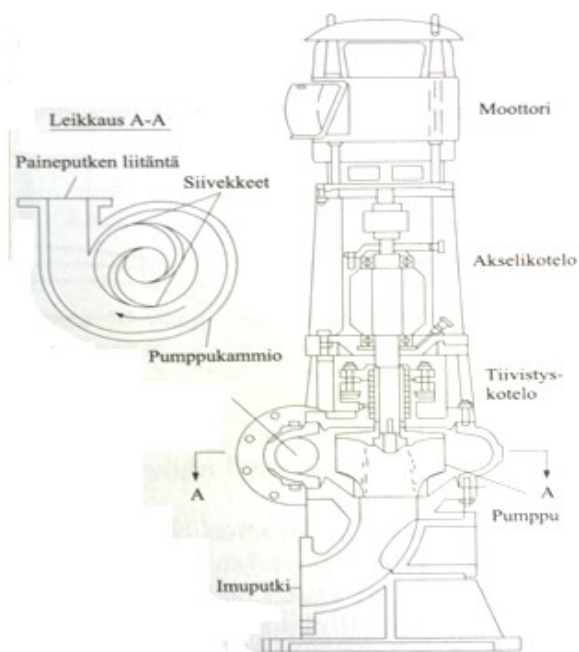
- keskipakopumput
- pneumaattiset nostolaitteet
- ruuvipumput

3.3.1. Keskipakopumppu

Keskipakopumpussa pumpattava neste johdetaan pumpun imuaukkoon ja keskelle imuaukossa olevaan juoksupyörään. Juoksupyörä on kiinnitetty pumpun akseliin ja akselia pyörittää sähkömoottori tai joku muu voimanlähde. Neste virtaa imuaukosta juoksupyörän siipisolia pitkin juoksupyörän ulkokehälle. Tämän pyörimisliikkeen vaikutuksesta juoksupyörän ulkokehälle päätynyt neste saa kehän tangentin suuntaisen nopeuskomponentin. Lisäksi nesteen liike-energia muuttuu osittain paine-energiaksi. Juoksupyörän jälkeen liike-energiaa muunnetaan edelleen paine-energiaksi spiraalin muotoisen johtolaitteen avulla. Pumpun läpi muodostuu jatkuva virtaus, kun juoksupyörältä poistuva neste aiheuttaa juoksupyörän keskiosaan alipaineen, jolloin imuputkessa vaikuttavan paineen vaikutuksesta pumppuun virtaa uutta nestettä juoksupyörältä poistuvan nesteen tilalle. Jotta keskipakopumppu toimisi, pumpun pesän on oltava täynnä vettä. (Wirzenius 1978)

Keskipakopumppuilla on useita eri luokituksia, joista yksi yleisimpiä on tyyppi, joka perustuu veden virtaukseen pumpun sisällä. Näitä keskipakopumpputyyppejä ovat muun muassa radiaalipumput, diagonaalipumput ja aksiaalipumput. (Karttunen, 2003)

Kuvassa 2 on esitetty radiaalityyppinen keskipakopumppu ja sen osat.



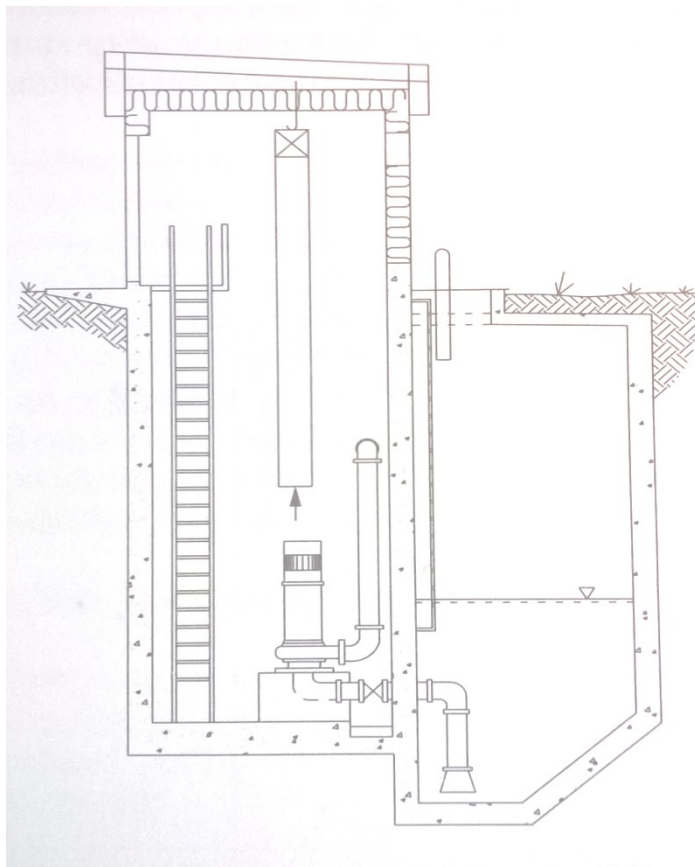
Kuva 2. Radiaalityyppinen keskipakopumppu, kuva muokattu. (Karttunen, 2004)

Keskipakopumput voidaan jakaa sijoitustapansa mukaan seuraaviin ryhmiin.

- kuivan asennuksen pumpput
- märän asennuksen pumpput
- uppopumput

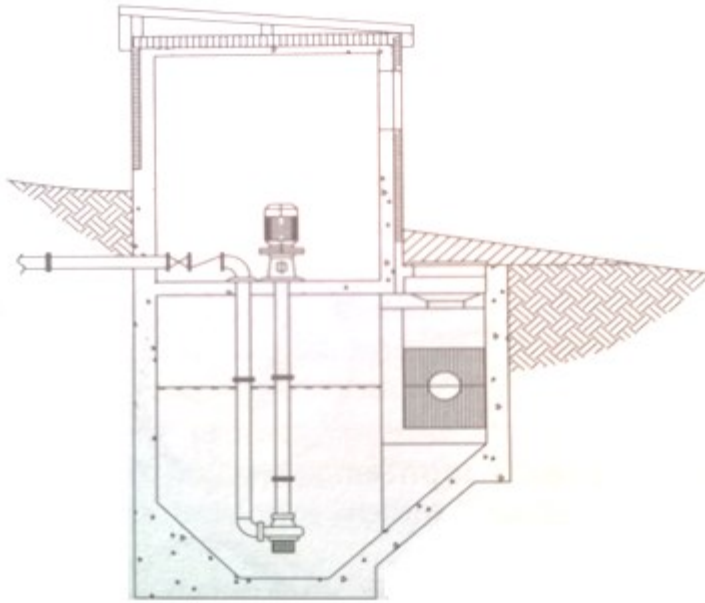
Kuivan asennuksen pumpput ovat tavallisia suurissa ja keskikokoisissa pumppaamoissa. Nämä pumpput asennetaan erilliseen maanpinnan alapuolella olevaan pumpputilaan, joka on erotettu imualtaasta betoniseinällä. Pumppujen venttiileillä varustetut imujohdot johdetaan betoniseinän läpi. Imujohdon tulee olla imualtaan vedenpinnan alapuolella, jotta pumpulle ei aiheudu imuvaikeuksia. Pumppujen moottorit on joko nostettu pitkää akselia käyttämällä ylhäällä olevalle moottoritasolle tai ne ovat välittömästi pumppujen yläpuolella. (Karttunen, 2004)

Kuvissa 3-5 on esitetty pumppujen eri asennustavat pumppaamoon. Kuva 3 esittää kuivan asennuksen pumpun asennuksen.



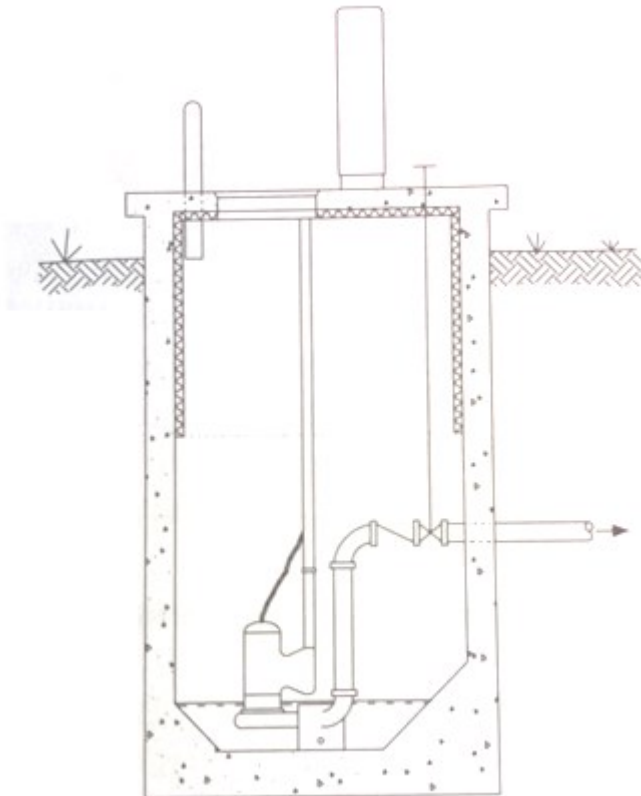
Kuva 3. Kuivan asennuksen pumppu, kuva muokattu. (Karttunen, 2004)

Märän asennuksen pumpput upotetaan imukaivoon moottorin ollessa imukaivon yläpuolella olevassa huoneessa. Tämä menetelmä on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Määrän asennuksen pumppu, kuva muokattu. (Karttunen, 2004)

Uppopumput asennetaan imualtaan pohjalle kokonaan. Pumpun moottori asennetaan myös imualtaaseen. Uppopumpuissa moottori on usein asennettu pumppuun sisälle. Uppopumppuasennus on yleistä pakettipumppaamoissa. Tämä asennustapa on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Uppopumppu, kuva muokattu. (Karttunen, 2004).

3.3.2. Pneumaattiset nostolaitteet

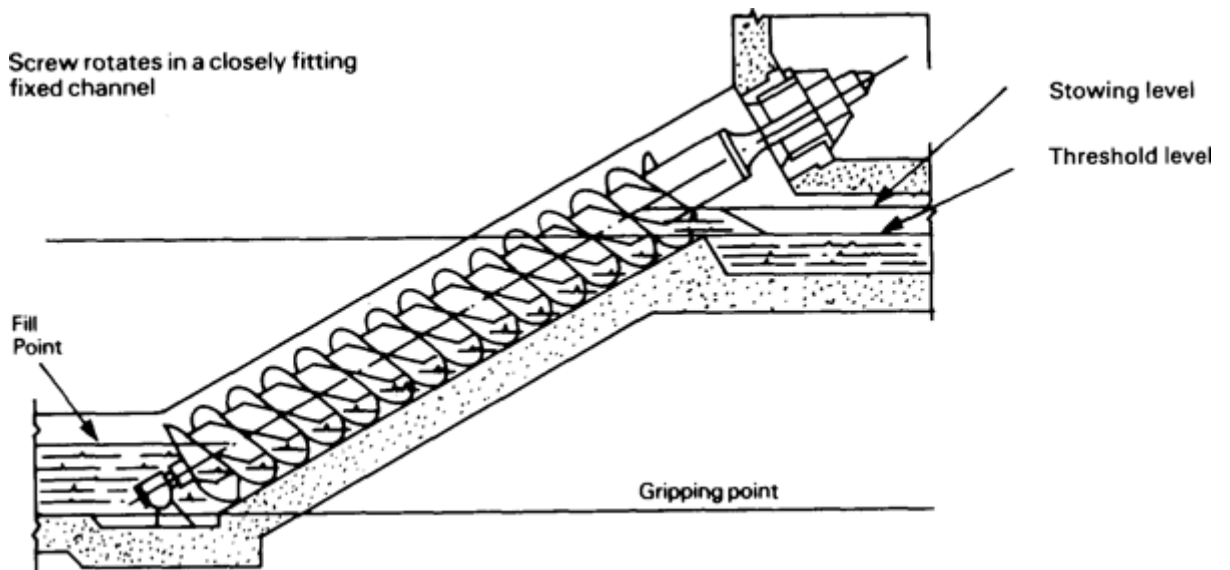
Pneumaattiset nostolaitteet, eli pneumaattiset pumpput, on tarkoitettu lähinnä pieneköjen vesimäärien pumppauksiin, esimerkiksi veden nostaminen syvistä viemäreistä katuviemäriin (Karttunen, 2004). Nämä pumpput ovat siten harvinaisempia kuin keskipakopumpput, koska ne eivät aina tarvitse erillistä pumppaamorakennusta tai pakettipumppaamoja. Pneumaattiset pumpput voivat toimia joko paineella tai sekä imulla että paineella.

Paineella toimiva pumppu sijoitetaan niin alas, että jätevesi virtaa pumpun vesisäiliöön suoraan. Säiliön täytyttyä pumpun kompressori käynnistyy ja paineilma sulkee pumpun tuloventtiilin ja työntää jäteveden painejohtoon. Kompressori pysähtyy, kun säiliö on tyhjä. Samalla tuloventtiili avautuu uudelleen ja säiliö alkaa täyttyä uudestaan (Karttunen, 2004). Pumpun käynnistyskertojen määrä riippuu säiliön tilavuudesta ja vesivirtaamasta.

Imulla ja paineella toimiva pumppu sijoitetaan 3 - 4 m vesipintaa ylemmäksi. Pumpussa on kaksi eri toimintavaihetta, imuvaihe ja painevaihe. Imuvaiheessa vesi nousee tyhjäpumpun käydessä ulkoilman vaikutuksesta säiliöön, kunnes säiliössä oleva pintarele ohjaa tyhjäpumpun imun pumpun paineeksi. Säiliöön virtaa paineilmaa, joka työntää veden säiliöstä painejohtoon. Rele katkaisee painepumpun toiminnan, kun säiliö on tyhjä. (Karttunen, 2004)

3.3.3. Ruuvipumput

Ruuvipumput ovat kooltaan niin isoja, että niitä käytetään ainoastaan suurissa pumppaamoissa. Perusrakenteeltaan ruuvipumppu on vinossa asennossa oleva ruuvi, joka pyörimisliikkeen avulla siirtää viemäriveden ruuvikierteiden avulla ylöspäin. Ruuvipumppujen teho vaihtelee hyvinkin suurilla virtaamaväleillä, jopa 40 - 5000 l/s. Nostokorkeus on kuitenkin rakenteellisista syistä korkeintaan kahdeksan metriä. (Karttunen, 2004) Ruuvipumppu on niin sanottu Arkhimedeen ruuvi, joka on kaikista pumppausmenetelmistä vanhin. Ensimmäiset ruuvipumput olivat käytössä jo muinaisessa Egyptissä. Kuvassa 6 on esitetty ruuvipumppu.



Kuva 6. Ruuvipumppu. (Food and Agriculture Organization of United Nations, 1986)

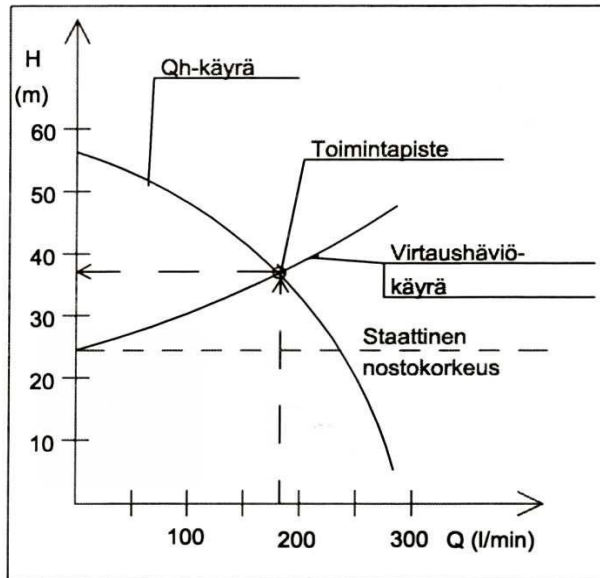
Ruuvipumppu on varsin luotettava pumppu, sillä sen hyötysuhde on korkea ja lisäksi se on tehokas pumppu viemäriveresiin, joissa kiinteiden epäpuhtauksien määrä on suuri. Pumpun huono puoli on suuri tilantarve. Lisäksi pumpun pumppaamaa jätevesimäärää on vaikea mitata tarkkaan. Ruuvipumpun tuotto on riippuvainen pumppaamon vedenpinnan korkeudesta. Ruuvipumpun muotojen vuoksi ruuvipumppaamoissa ei ole paineputkea, johon voitaisiin asentaa virtausmittarit. Paineputkea ei ole, koska ruuvipumpun toiminta ei perustu paineen muodostamiseen pumpun sisällä. (Saarinen, P. & Lukkarinen, T. 2015)

Ainoa tapa mitata ruuvipumpun pumppaamaa veden määrää on arvioida sen tuotto. Tuotto perustuu pumpun keskivirtaamaan kerrottuna pumpun käyntiajalla. Tästä laskentamenetelmästä saatu tulos johtaa usein epäluotettavaan tai lähes käyttökeltomaan virtaamadataan. Lyhyesti siis voidaan todeta, että ruuvipumppaamosta ei ole mahdollista saada kelvollista virtaamadataa. (Saarinen, P. & Lukkarinen, T. 2015)

3.3.4. Pumppujen ominaiskäyrät

Pumppujen toimintaa voidaan kuvata ominaiskäyrien avulla. Pumpun toiminnan kolme tärkeintä tekijää on pumpun tuotto eli virtaama, nostokorkeus ja hyötysuhde. Nämä kolme ominaisuutta voidaan kuvata yhdessä samassa koordinaatistossa. Koordinaatisto on tavallisesti QH-koordinaatisto, joka ilmaisee nostokorkeuden arvon virtaaman funktiona. (Karttunen, 2003)

Kuvassa 7 on esitetty esimerkkinä yksi mahdollinen pumpun ominaiskäyrä. Ominaiskäyrästä voidaan määrittää pumpun toimintapiste, joka saadaan määritettyä nostokorkeuden ja tuoton riippuvuudesta. Ominaiskäyriä on monenlaisia ja joissain voidaan myös ilmaista pumpun toimintapisteen avulla hyötysuhde ja teho.



Kuva 7. Keskikapapumpun ominaiskäyrä ja toimintapisteen määrittäminen. (Karttunen 1999)

3.4. Pumppaamon automaatiojärjestelmät

Tässä kappaleessa kerrotaan pumppaamoiden automaatiojärjestelmistä ja tiedonsiirtotavoista. Valvonta- ja ohjausjärjestelmä ovat tarpeen jokaisessa vesihuollon osa-alueessa. Järjestelmän perustehtävä on saada riittävästi ja riittävän nopeasti tietoja toimintojen ohjaamista varten. Järjestelmän ollessa automaattinen sillä vähennetään henkilöstön rutiinityötä ja käyttökustannuksia. Automaatiojärjestelmät eivät kuitenkaan ole sataprosenttisen varmoja, ja siksi niiden häiriötilanteisiin on varauduttava varmistusjärjestelmillä.

Jätevesiverkon ohjauksen tavoitteet ovat seuraavat: (RIL 237-1, 2010)

- automaattinen ohjaus
 - jäteveden puhdistamo kuormittuu tasaisesti
 - jäteveden virtaus on riittävä
 - paineiskujen välttäminen siirtojohdoissa
 - hajuongelmien välttäminen
 - laite- ja häiriötilanteiden selvitys
- varaohjausjärjestelmä vikatilanteissa

- manuaalinen kaukokäyttö vikatilanteissa
- paikallinen manuaalinen ohjaus vikatilanteissa

Jätevesiverkon valvonnan tavoitteet ovat: (RIL 237-1-2010)

- pumppaamoiden toiminnan valvonta
- virtaaman valvonta
- ylivuotojen valvonta ja seuranta
- erilaisten vuotojen valvonta ja seuranta
- energian käytön seuranta

3.4.1. Automaatiojärjestelmien kasvu ja kehitys

Nykyään vesihuoltolaitosten toiminnassa hyödynnetään paljon automaatiota. Suurimmat syyt automatisoinnin kehitykseen ovat vesihuoltolaitosten toimintaympäristön ja käyttöorganisaatioiden muutokset (RIL 237-1-2010). Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut- kuntayhtymä on hyvä esimerkki toimintaympäristön muutoksesta. Se perustettiin 1.1.2010, kun Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten vesilaitokset yhdistettiin yhdessä YTV:n jätehuollon ja seutu- ja ympäristötiedon kanssa (HSY 2015). Vesihuoltolaitosten laajentuessa automaation tarve ja hyöty kasvavat, kun useampi yksikkö muodosta yhden suuren laitoksen.

Pumppaamo-automaation hyödyntäminen on Suomessa huippuluokkaa. Mitä enemmän automaatiojärjestelmiä asennetaan, sitä enemmän se tulee tarvitsemaan instrumentteja ja sitä kautta kunnossapitoa. (Antikainen, J. 2015)

3.4.2. Automaatiojärjestelmät

Automaatiojärjestelmillä mahdollistetaan eri vesihuoltoprosessien automaattinen ohjaus ja lisäksi ne helpottavat prosessien valvontaa (RIL 237-1, 2010). Jäteveden pumppaamot ovat yksi viemärintiprosessin osa. Vesi- ja viemäriverkon ohjausjärjestelmässä automaation toiminnalle asetetaan seuraavat vaatimukset (RIL 237-1, 2010):

- havainnolliset trendinäytöt verkon toiminnan seurantaan
- havainnolliset karttanäytöt vuotojen ja paineiden seurantaan
- havainnolliset prosessinäytöt laitosten ohjaukseen ja valvontaan

- helppokäyttöiset ohjaukset ja asettelunäytöt
- automaation keräämien tietojen välittäminen ja jalostaminen koko vesi- ja viemärilaitoksen organisaation käyttöön
- ylemmätason ohjaukseen ja raportoinnin tietojen vaihdon liittäminen kaksisuuntaisesti automaatiojärjestelmän ohjelmistoon.
- häiriövapaan tiedonsiirron luominen ja tärkeimpien yhteyksien varmistaminen
- varmistukset laiterikkojen ja sähkökatkosten varalta
- vapaasti sijoitettavat rinnakkaisvalvomot
- etäpäivystyksen mahdollistaminen

Ohjelmisto on olennainen osa automaatiota. Ohjelmisto jakautuu valmisohjelmiin ja sovellusohjelmiin. Valmisohjelma on ohjelmiston alusta, jonka sisään luodaan kohdekohtainen sovellusohjelma. Esimerkiksi jäteveden pumppaamoille on voitu asentaa oma kohdekohtainen sovellusohjelma, joka kattaa vain pumppaamon oman automaation toiminnan. Pumppaamoissa käytetään usein ohjelmoitavan logiikan ohjelmointiohjelmaa, joka on yksi valmisohjelman tyyppi. (RIL 237-1-2010) Ohjelmoitava logiikka on digitaalinen, ohjelmoitava hallintajärjestelmä, joka käyttää ohjelmoitavaa muistia varastoimaan ohjeet järjestelmän tarvittavia toimintoja varten. Näitä toimintoja ovat jätevedenpumppaamoissa esimerkiksi pumppujen käynnistysrajojen määrittäminen ja virtaaman laskentasovellukset.

Sovellusohjelma sisältää ohjelmointiapuvälineillä tehdyn sovellus- tai kohdekohtaisen ohjelmakoodin, joka on asennettu valmisohjelmaan. Pumppaamoissa oleva valmisohjelma räätälöidään aina kohdekohtaisesti, eli kahdella pumppaamolla ei saa olla samanlaiset ohjelmoidut logiikat. Tämä johtuu siitä, että mikäli kahden pumppaamon logiikan ohjelmakoodit olisi räätälöity samanlaisiksi, vähintään toisen pumppaamon ohjelmakoodi aiheuttaisi pumppaamon automaatiolle virheellistä dataa. Kohdekohtaisen koodin määrä vaihtelee sen mukaan, mitä suurempi ja yksilöllisempi ohjattava tai valvottava kokonaisuus on. (RIL 237-1-2010)

Automaatiojärjestelmissä puhutaan usein ohjelmoitavista logiikoista. Logiikka on pienikokoinen, tietotekninen järjestelmä, joka lukee joko analogista tai digitaalista tietoa. Tämän tiedon avulla logiikalla voidaan hallita esimerkiksi koneita tai prosesseja. Logiikka pystyy ottamaan vastaan sekä lähettämään eri tyyppisiä sähköisiä

signaaleja ja niiden avulla se pystyy hallitsemaan melkein mitä tahansa mekaanista tai sähköistä järjestelmää. (Grady 2006) Logiikan koko voidaan määritellä sen resoluutioarvolla. Mitä suurempi resoluutio logiikalla on, sitä enemmän digitaalista tietoa se voi käsitellä. (Antikainen, J. 2015) Logiikan koko voidaan myös määritellä sen sisään- ja ulostulojen määrällä. Esimerkiksi nanomallisella logiikalla on vähemmän kuin 32 sisään-/ulostuloja, mikromallisella logiikalla on sisään-/ulostuloja 32:n ja 128:n välillä, pienellä logiikalla 128:n ja 256:n välillä ja isoilla logiikoilla vielä enemmän. Mitä enemmän sisään- ja ulostuloja logiikalla on, sitä enemmän se voi ottaa vastaan tietoa ja lähettää sitä eteenpäin. (Grady 2006)

Pumppaamon sisäiset logiikat on ohjelmoitu ala-asemiin. Ala-asema on automaatiojärjestelmän osa, johon jokaiseen ohjelmoidaan yksi ohjelmointilogiikka. Pumppaamolla on yleensä vain yksi ala-asema (Antikainen, J. 2015). Pumppaamoilla käytettävään logiikkaan voidaan määrittää muun muassa virtaaman laskentatavat ja mittausmenetelmät ja pumppujen käynnistys- ja pysäytysrajojen määrittäminen. (Stenberg, J. 2015)

Pumppaamoiden automaatiojärjestelmien rakentaminen ja ohjelmointi toteutetaan kilpailutettavina urakkatarjouksina. Näin ollen järjestelmän laatu voi osaltaan riippua investoinneista, joita järjestelmä vaatii. (Stenberg, J. 2015)

Pumppaamoille asennetut logiikat pyritään asentamaan ja ohjelmoimaan siten, että sen kapasiteetti tulee riittämään kaikissa tilanteissa, ja siten, ettei se tarvitse niin paljoa työtä. On aina mahdollista kuitenkin asentaa isompi logiikka, joka toimii varmemmin, koska se pystyy käsittelemään enemmän dataa. Isot logiikat ovat toimintaperiaatteiltaan samanlaisia kuin muut ohjelmoitavat logiikat, mutta ne voivat käsitellä enemmän digitaalista tietoa. Data on tällöin luotettavampaa ja tarkempaa, mutta valvonnan kannalta tällaiset logiikat aiheuttavat enemmän työtä. Isot logiikat ovat silti kapasiteetiltaan rajallisia ja edellyttävät suurempia investointeja. Isot logiikat eivät kykene toimimaan ilman kompromisseja. Viemärlaitokset eivät yleensä yritäkään hankkia täysin tarkkaa tietoa virtaamadatastaan vaan ainoastaan mahdollisimman totuudenmukaista tietoa, jotta laitokset pysyvät perillä viemäriverkostonsa ja pumppaamoidensa toiminnasta. Mutta laitoksen toimivuus voisi parantua merkittävästi, jos saatavissa oleva data olisi niin tarkkaa kuin mahdollista. Mikäli viemärilaitos haluaisi niin tarkkaa virtaamadataa kuin mahdollista, viemärilaitos tarvitsisi huomattavasti enemmän henkilöstöä valvomaan pumppaamoita ja

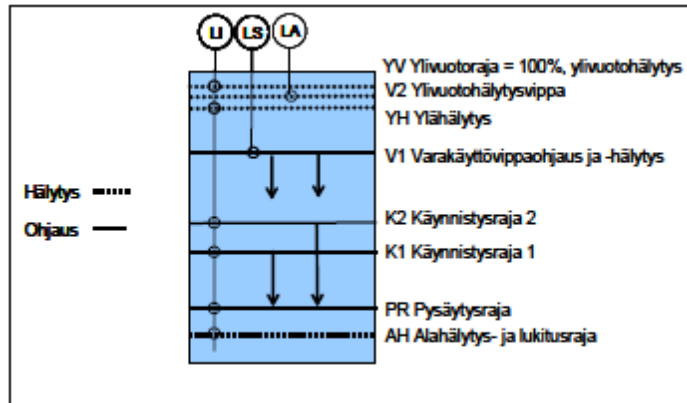
koodaamaan sitä tarpeiden mukaan. Tällainen tilanne ei ole yhdelläkään vesilaitoksella ideaali. (Stenberg, J. 2015)

Automaatiojärjestelmän tarkoituksena on valvoa pumppaamon toimintaa. Pumppaamolla on myös oltava mahdollisuus toimia ilman automaatiojärjestelmää, jolloin pumppaamo ohjaa sähkökeskuksessa toteutettu varaohjaus. Varaohjaus toimii varakäyttövipalla sekä päästö- ja vetohidasteisilla aikareleillä. Vippa käynnistää ensimmäisen pumpun käynnistysrajalla ja vetohidasteinen aikarele huolehtii toisen pumpun käynnistyksestä siihen asetetun ajan jälkeen. Kun vipan kosketin on auennut ja päästöhidasteiseen releeseen asetettu aika on kulunut, pumput pysähtyvät. (Jalonen 2012)

Pumppaamot voivat toimia joko suorakäytöllä tai taajuusmuuntajakäytöllä. Suorakäytössä pumppaamo varustetaan pintamittauksella, varakäyttövipalla, ylärajahälytysvipalla, tulvavahdilla ja termostaatilla. Taajuusmuuntajakäytössä pumppaamo varustetaan samoilla osilla ja lisäksi elektronisella virtausmittarilla, kuten magneettimittarilla. (Jalonen 2012)

Suora- ja taajuusmuuntajakäyttöiset pumppaamot toimivat pääasiassa samalla tavalla. Suorakäytössä pumppuja ohjataan pintamittauksella, joka määrittää pumppujen käynnistys- ja pysäytysrajat. Pintamittaus esitetään logiikan näytöllä senttimetreinä ja prosenttiarvona. Pinnan anturin taso on 0 % ja ylivuotoraja on 100 %. Prosenttiarvo voi tällöin nousta yli 100 %:n. Logiikkaan määritetään kaksi eri käynnistysrajaa, joista ensimmäinen on ensimmäisen pumpun käynnistysraja. Toinen käynnistysraja asetetaan vähän ensimmäistä korkeammalle ja mikäli pinta saavuttaa tämän rajan, toinen pumppu käynnistyy. Kaksi käynnistysrajaa asetetaan kahden pumpun pumppaamossa sellaista tilannetta varten, jossa yhden pumpun tuotto ei riitä. Jos pinta nousee edelleen pumpun käynnistyttyä käynnistysrajalla, otetaan toinen pumppu käyttöön toisella käynnistysrajalla. Jos pinta nousee vielä tämänkin jälkeen, pumppujen kapasiteetti on joko riittämätön, tai pumput eivät toimi. Pumput pysäytetään yhteisellä pysäytysrajalla, mutta niille voidaan määrittää logiikasta riippuen omat erilliset käynnistys- ja pysäytysrajat. Ensimmäisenä käynnistyvää pumppua vuorotellaan joka pumppauskerralla. (Jalonen 2012)

Kuvassa 8 on esitetty pumppaamon logiikkaan määritettävät rajat.



Kuva 8. Pumppaamon rajat. (Jalonen 2012)

Taajuusmuuttajakäyttöisessä pumppaamossa pumppujen ohjaus toimii muuten samoin kuin suorakäyttöisessä, mutta siinä pumput käynnistetään taajuusmuuttajaan asetetulla käynnistysrampilla asetettuun vakiotuottoon. (Jalonen 2012) Käynnistysramppi on manuaalisesti määritetty aikajakso, rampin alusta täyden jännitteen saavuttamiseen Vastaavasti pysäytys tapahtuu taajuusmuuntajaan asetetulla pysäytysrampilla, joka on täydestä jännitteestä loppujännityksen saavuttamiseen kulunut aika. (ABB 2011)

3.4.3. Tiedonsiirto

Tiedonsiirto on tärkeä osa vesihuoltoverkostojen toimintaa. Verkosto koostuu useista laajalla alueella olevista yksittäisistä kohteista, ja siksi tiedonsaanti olisi tarpeen joka kohteesta, mutta käytännön puolesta se ei aina ole mahdollista. Keskitetty ohjaus, kaukokäyttö ja -valvonta edellyttävät luotettavaa, tehokasta ja turvallista tiedonsiirtoratkaisua. Tiedonsiirtomenetelmät ovat kehittyneet voimakkaasti, mikä on lisännyt tiedonsiirron eri vaihtoehtoja ja parantanut sen toteutusmahdollisuutta. (RIL 237-1, 2010)

Automaatiojärjestelmässä tiedonsiirto on jatkuvaa, mutta tietoa siirretään yhdellä kertaa melko vähän (RIL 237-1, 2010). Lisäksi tiedonsiirrossa käytettävät tukiasemat, joilla on useampi kuin yksi pumppaamo verkossa, käsittelevät vain yhden pumppaamon lähettämää dataa kerralla. Tämän vuoksi samalta pumppaamolta dataa saadaan tietyn väliajoin. Verkostosta voitaisiin saada kerättyä paljon erilaista dataa, mutta siirrettävä data on lähinnä prosessitietoa, esimerkiksi mittausdataa, käyntitilamuutoksia ja hälytyksiä. Näiden kolmen eri tiedon siirtämiseen riittää vaatimatonkin tiedonsiirtojärjestelmä. Suurempaa tiedonsiirtoa tarvitaan lähinnä

silloin, jos on tarve siirtää ethernet-, eli lähiverkkoliikennettä, valvomoiden välillä tai videovalvontakuvaa valvomoon. (RIL 237-1, 2010)

Tiedonsiirtomenetelmiä on monenlaisia. Perinteiset tiedonsiirtomenetelmät pohjautuvat omiin kiinteisiin kupariparikaapeleihin. Kupariparikaapelit ovat digitalisoitumisen ja yleisen tiedonsiirtotarpeen kasvun myötä vaihtuneet valokuitukaapeleihin, jotka voivat siirtää suuriakin määriä tietoa. Kiinteiden kaapeleiden etuna on jatkuva valvottu yhteys ja laitteiden edullisuus. Haittana on herkkyys kaivinkoneiden aiheuttamille vahingoille ja jos valokuitukaapeli on sähköinen, se on altis ukkosen aiheuttamille ylijännitepiikeille. Lisäksi valokuitukaapeleiden tarvitsemat sähkölaitteet ovat alttiita vioille. (RIL 237-1, 2010)

Oma kaapeleilla toimiva tiedonsiirtoverkko ei aina ole mahdollinen, erityisesti haja-asutusalueilla. Jos tiedonsiirtoverkkoa ei ole mahdollista tehdä kaapelien avulla, on mahdollista luoda tiedonsiirtoverkko paikallisen teleyhtiön kaapeliverkosta. Teleyhtiöltä saatu modeemilla toimiva tiedonsiirto on hyvä ja edullinen ratkaisu silloin, jos tiedonsiirto on vähäistä eikä jatkuvalla yhteydelle ole tarvetta. Nykyään langattomat puhelinverkot ovat valloittaneet alan lähes kokonaan ja siksi kaapeliverkkojen ylläpito on heikentynyt. Täten kaapeliverkkojen hyväksikäytöstä on luovuttu lähes täysin. (RIL 237-1, 2010)

Radiotaajuuksilla ja radiomodeemilla toimivat tiedonsiirtomenetelmät ovat nykyään kaikkein yleisin tiedonsiirtomuoto. Nämä yhteysmenetelmät ovat langattomia ja siksi immuuneja ukkosen tai kaivinkoneiden aiheuttamille vahingoille. Lisäksi radiomodeemit ovat edullisia, sillä niistä maksetaan vain vuotuinen lupamaksu lupaviranomaiselle. Radiomodeemit ovat laitoksen omassa käytössä. Niitä ei valvo mikään palveluntarjoaja. Radiotaajuuksien ja radiomodeemin haittoina voivat olla sateen ja mäkisen tai peitteisen maaston aiheuttamat kuuluvuusongelmat. Rakennuskustannukset voivat nousta mäkisessä maastossa varsin korkeiksi. (RIL 237-1, 2010) Radiomodeemi on suljettu verkko ja on siten tietoturvan kannalta varma ja luotettava. Eli radiomodeemi ei ole yhteydessä Internetiin. Radiomodeemin tiedonsiirtokapasiteetti on rajallinen ja sen suuruus riippuu verkon ominaisuuksista. Tiedonsiirron kapasiteetin arvo määräytyy sen mukaan, miten verkko on rakennettu. Verkot pyritään rakentamaan laitoksen tarpeisiin sopivaksi. Radiomodeemi toimii siten, että valvomoon on liitetty yksi tai useampi pumppaamo. Valvomoon asennettu valvomon logiikka kerää pumppaamoilta virtaamadataa vuorotellen yh-

deltä pumppaamolta kerrallaan, ja kerättyään kaikilta pumppaamoilta, kierros alkaa alusta. Tätä kyseistä tiedonsiirron toimintaa kutsutaan pollaukseksi. Pollaus tarkoittaa kiertokyselyä, jossa tukiasema kysyy logiikalta ennen tiedonsiirtoa, että onko logiikka valmis tiedonsiirtoon. (Stenberg, J. 2015)

Toinen yleinen tiedonsiirtomenetelmä on GPRS-verkko, joka perustuu tiedonsiirtoon Internetin välityksellä. GPRS tulee sanoista General Packet Radio Service. GPRS perustuu radiomodeemin tapaan radioaaltoihin ja siten langattomaan yhteyteen. Tässä verkossa pumppaamon ala-asemat välittävät kerätyn tiedon eteenpäin Internetin välityksellä valvomoon. GPRS-verkon etu radiomodeemiin verrattuna on sen suurempi tiedonsiirtokapasiteetti. Mutta koska kyseessä on julkinen verkko, niin tietoturvan kannalta GPRS-verkko ei ole yhtä luotettava kuin suljettu verkko. GPRS-verkko voi myös kadottaa siirtämänsä tiedon herkemmin kuin radiomodeemi. (Stenberg, J. 2015)

GPRS-tiedonsiirtoa käyttäessä GPRS-yhteys täytyy varmistaa tekstiviestiyhteydellä. Tekstiviestiyhteyden avulla voidaan välittää valvomoon kaikki tärkeät hälytykset GPRS-yhteyden ollessa pois käytöstä. Tärkeitä hälytyksiä ovat muun muassa sähkökatkot tai sen päättymisen, yläraja- ja ylivuotohälytykset ja niiden päättymisen. (Jalonen 2012)

Langattomat puhelin- ja laajakaistaverkot ovat laajalti käytössä nykyään. Ne ovat vieneet valtavasti alaa langallisilta puhelinverkoilta. Langattomien verkkojen ongelmana on lähinnä saatavuus haja-asutusalueilla. Ongelmaa on aiheuttanut voimakkaan kehityksen alaiset tiedonsiirtojärjestelmät, joissa tällaisten verkkojen ja palveluiden tarjoaminen on jo lopetettu ennen kuin ne ovat saavuttaneet haja-asutusalueilla olevat kohteet. (RIL 237-1, 2010)

Laajakaistayhteyksien kasvaminen yhä suurempiin tiedonsiirtonopeuksiin ei ole vesi- ja viemärlaitoksille virtaamatojen kannalta tärkeää. Pumppaamoiden tiedonsiirron kannalta riittävä laajakaistayhteys on 2G-verkko. 3G-verkkoa tarvitaan silloin, jos pumppaamoilta halutaan saada virtaamatojen lisäksi elävää kamera-kuvaa. Nykyajan 4G-verkoilla ja tulevaisuuden 5G-verkoilla ei näin ollen ole suurta merkitystä virtaamatojen laadun parantamiseen. Nopeampi yhteys voi ehkä parantaa datan laatua, mutta muutos olisi lähes mitätön. Nopeammalla verkolla ei myöskään voida vaikuttaa tiedonsiirtokatkoihin. (Antikainen, J. 2015)

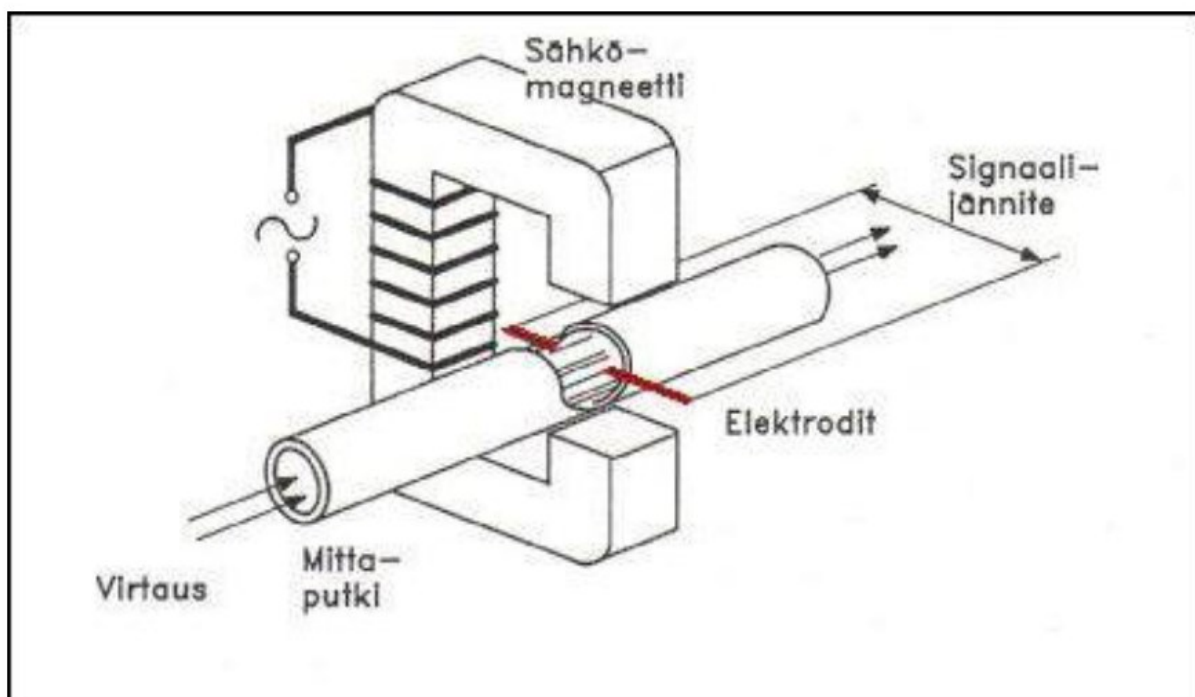
4. Virtausmittarit ja mittausmenetelmät

Virtaamien mittaamiseen on kehitetty useita erilaisia menetelmiä ja laitteita. Vesimäärän mittaus on jokaisen vesihuoltolaitossysteemin suunnitteluun ja toimintaan liittyvä välttämätön perustieto (Karttunen, 2003). Mittausmenetelmät voidaan jakaa hydraulisiin ja elektronisiin menetelmiin.

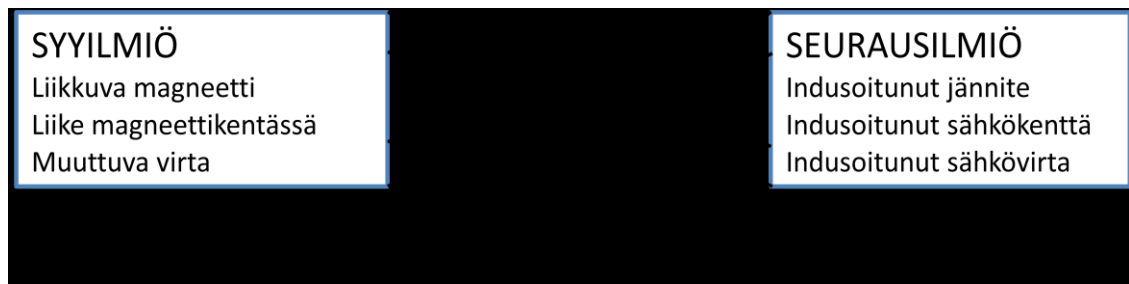
4.1. Magneettimittari

Magneettisen virtausmittarin toimintaperiaate perustuu siihen, että putken ympärille synnytetään magneettikenttä. Magneettikenttä syntyy sähkömagneettien välille. Kun sähköä johtava aine kulkee magneettikentän läpi, mittariin syntyy jännite. Tämä jännite mitataan putken kummallekin puolelle asennetuilla elektrodeilla. Mitä suurempi jännite mittariin syntyy, sitä suurempi virtaus kulkee mittarin läpi. Mittaus perustuu ilmiöön nimeltä sähkömagneettinen induktio. (Pöyry 2011)

Kuvassa 9 on esitetty magneettimittarin toimintaperiaate ja kuvassa 10 on esitetty sähkömagneettisen induktion toimintaperiaate syy- ja seurausilmiöiden perusteella.



Kuva 9. Magneettimittarin toimintaperiaate. (Keuda 2005)



Kuva 10. Sähkömagneettisen induktion syy- ja seurausilmiöt
(Lavonen & Veisalo 1996, Helsingin yliopisto, Opettajankoulutuslaitos)

Magneettimittari ei toimi, jos mitattavalla nesteellä ei ole sähkönjohtavuutta. Jätevesissä sähkönjohtavuuden arvot ovat usein välillä 50 - 100 mS/m (millisiemens/senttimetri) (Oravainen, 1999). Sähkönjohtavuuden arvo kuvaa vedessä olevien suolojen määrää. Signaalijännite on suoraan verrannollinen virtaamaan. Magneettimittari toimii samalla tavalla kuin sähkögeneraattori, jonka toiminta perustuu myös sähkömagneettiseen induktioon. Signaalijännitteen, eli indusoituneen jännitteen suuruus voidaan laskea kaavan 3 avulla (Hofmann 2003).

$$U = k * B * D * v \quad (3)$$

- U = signaalijännite (V)
- k = dimensioton vakio
- B = magneettivuon tiheys ($T = V \cdot s/m^2$)
- D = mittaelektrodien etäisyys (m)
- v = väliaineen virtausnopeus (m/s)

Kaavan 3 mukaan signaalijännite syntyy mittaelektrodien välille, kun sähköä johtava väliaine kulkee mittaelektrodien välillä olevan magneettivuon läpi.

Magneettimittarin tärkein etu on, että mittari on riippumaton nesteen tiheydestä, viskositeetista, paineesta ja lämpötilasta. Jos olosuhteet ovat optimaaliset, mittarilla saadaan korkea tarkkuus. Mittarin heikkoudet ovat ilman aiheuttamat häiriöt ja saostumien aiheuttamat virheet. Vaikka pumpppaamo rakennetaan tiiviiksi, on aina mahdollista, että ilmaa pääsee putkeen. (Pöyry 2011) Mittari asennetaan pumpppaamon yhteydessä, koska se tulee asentaa paineelliseen putkeen.

Magneettimittari sopii erityisen hyvin viemäriveden mittaamiseen, koska tässä menetelmässä mitkään liikkuvat osat eivät joudu tekemisiin jäteveden kanssa. Magneettimittarin tarkkuus on noin $\pm 0,5 \%$, jos virtausnopeus on 1,2 - 7,6 m/s ja $\pm 2,0 \%$ nopeuden ollessa välillä 0,3 - 0,6 m/s (Karttunen, 2004).



Kuva 11. Esimerkki magneettimittarista (Kaiko 2010)

Magneettimittari asennetaan suoraan kiinni pumppaamon paineputkeen. Mittari koostuu putkiosasta, sähkömagneeteista ja itse mittarista (kts. kuva 11). Putkiosa kiinnitetään laipoista.

Magneettimittarit ovat nykyään yleisesti käytössä uusissa ja vastikään saneeratuissa jätevedenpumppaamoissa. Niiden soveltuvuus jätevesien virtaaman mittaamiseen on erinomainen. Ne ovat edullisia ja käyvät hyvin yhteen prosessorijärjestelmien kanssa. Mittareiden huollontarve on vähäinen, eivätkä ne ole kovin häiriöalttiita, koska niissä ei ole liikkuvia tai kuluvia osia. Mittari täytyy kuitenkin kalibroida kymmenen vuoden välein. Sähkömagneettisista virtausventtiileistä löytyy

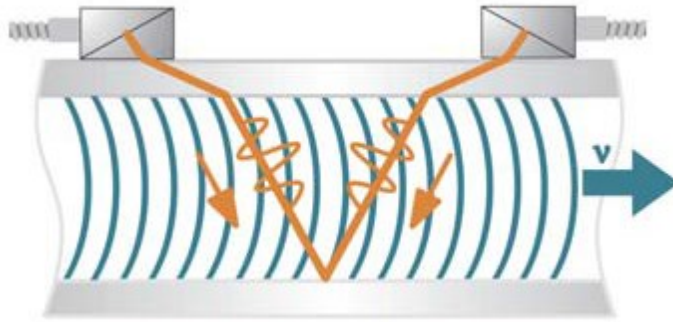
myös prosessoriohjattuja sovelluksia, jotka sopivat myös vajaatäytteisien putkien virtaaman mittaamiseen. Tämä on etu, johon muut mittarit eivät pysty vastamaan luotettavasti (Kukkonen 2002).

Magneettimittari on suurilta osin kaikkein luotettavin virtaamamittaustapa. Mittarin tekemä mittausta on reaaliaikainen ja se pystyy mittaamaan virtaaman arvoa aika tarkasti jopa vajaassa putkessa. Mittarin näyttämä virtaaman lukema on riippuvainen mittarin läpi virtaavasta vesimäärästä ja virtausnopeudesta. Mittari voi aiheuttaa virheellisiä mittausarvoja vain muutamista syistä. Ne ovat mittarissa ilmenevät tekniset ongelmat, jotka ovat varsin epätodennäköisiä, ja huono asennuspaikka. Ennen mittaria putkea tulisi olla vähintään kolme kertaa magneettimittarin putken halkaisijan verran ja jälkeen viisi kertaa halkaisijan verran (Saarinen, P. & Lukkarinen, T. 2015). Tämä arvo voi vaihdella riippuen magneettimittarista. Magneettimittarin asentaminen vanhoihin pumppaamoihin, joissa ei ole ollut magneettimittaria ennestään, ei ole mahdollista muuten kuin saneerauksen yhteydessä tai jos pumppaamolle rakentaa erillisen paineputkellisen mittarikaivon magneettimittaria varten. Vaikka magneettimittari yleistyy koko ajan, se on silti vain vähäisessä käytössä huolimatta sen luotettavuudesta. (Stenberg, J. 2015)

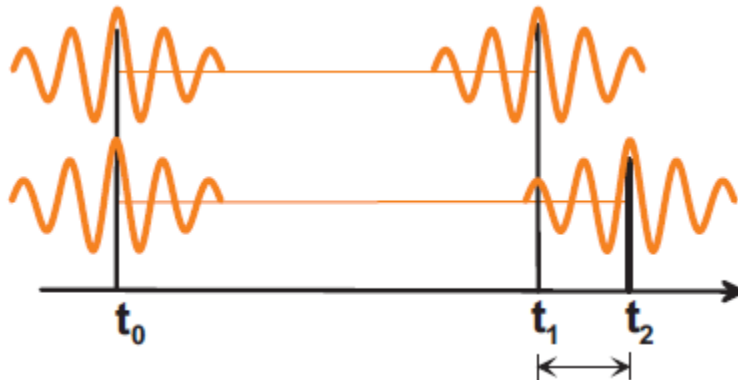
4.2. Ultraäänimittari

Virtaamaa voidaan mitata ultraäänitekniikan avulla. Ultraäänimittauksen perusoletus on, että äänen nopeus nesteessä on vakio. Ultraäänimittari mittaa virtauksen myötä- ja vastavirtaan lähetetyn ultraäänisignaalin välisen kulkuajakaeron. Toisin kuin magneettimittari, ultraäänimittari on erityisen herkkä vedessä oleville epäpuhtauksille ja virtauksen ominaisuuksien vaihteluille johtuen äänen kulkunopeuteen perustuvasta virtaustekniikasta. Tämän vuoksi ultraäänimittari tulee sijoittaa paikkaan, jossa ei tapahdu virtaustilan muutoksia. (Pöyry 2011)

Kuvassa 12 on esitetty ultraäänimittarin äänisignaalin liike ja kuvassa 13 on esitetty ultraäänisignaalin kulkuajakaeron periaate.



Kuva 12. Ultraäänisignaalin liike. (Flexim 2014).



Kuva 13. Ultraäänisignaalin kulkeaikaero. (Flexim 2014).

Ultraäänimittari laskee virtaaman seuraavan kaavan mukaan (Flexim 2014):

$$V = k_{RE} * A * k_a * \Delta t * t_{fl} \quad (4)$$

- V = virtaama
- k_{RE} = nestemekaniikan kalibrointitekijä
- A = putken poikkipinta-ala
- k_a = akustinen kalibrointitekijä
- Δt = kulkeaikaero
- t_{fl} = kulkeaika väliaineessa

Ultraäänimittarit asennetaan putken päälle. Mittarin asentaminen on yksinkertaista ja edullista, koska mittarin osia ei tarvitse asentaa putken sisälle, eli putken virtaamaa ei tarvitse keskeyttää asennuksen ajaksi. Lisäksi putken koolla ei ole suurta merkitystä. Mittari sopii hyvin myös suurikokoisille putkille. (Pöyry 2011)

Ultraäänimittarit ovat häiriövapaita ja niiden tarkkuus on noin $\pm 1 \%$ mitatusta virtaaman arvosta, edellyttäen, että mittari on asennettu paikkaan, jossa virtaamassa ei tapahdu merkittäviä muutoksia.

Epäpuhtauksien ja virtauksen ominaisuuksien vaihteluiden lisäksi ultraäänimittarilla on myös seuraavia heikkouksia. Ilma putkessa häiritsee mittauksia, eikä mittari näin ollen sovellu virtaaman mittaamiseen vajaassa putkessa. Lisäksi putken rajapinnoissa mittaus voi vääristyä herkästi. (Pöyry 2011)

Kuvassa 14 on esitetty ultraäänimittarin anturien asentaminen putken pintaan.



Kuva 14. Ultraäänimittarin anturien asennus putken pintaan.

Kuten magneettimittari, myös ultraäänimittari tarvitsee suoraa putkiosuutta, jotta siitä saatu virtaaman arvo olisi tarpeeksi tarkka. Ultraäänimittari tarvitsee sitä noin kuusi kertaa putken halkaisijan verran ennen mittarin anturia, ja anturin jälkeen jopa 10 kertaa putken halkaisijan verran.

4.3. Astiamittaus pumppaamoissa

Astiamittaus on yksinkertaisin virtaaman mittausmenetelmä. Toisin kuin magneettimittari tai ultraäänimittari, jotka ovat sähköisiä menetelmiä, astiamittaus on hydraulinen mittausmenetelmä. Mittaukseen tarvitaan astia ja kello. Pumppaamon imukaivoa voidaan ajatella astiana. Tällöin voidaan määrittää astian vedenpinnan

nousunopeus, josta voidaan laskea astian täyttymisnopeus ja tulovirtaama. Astiamittauksessa oletetaan, että tulovirtaama on pumppauksen aikana tasainen, eli pumppauksen kestoajan tulovirtaaman oletetaan olevan sama kuin edellisessä mittauksessa (Jalonen 2012).

Astiamittausta voidaan kuvata seuraavalla yhtälöllä (Jalonen 2012):

$$Q_{out} = \frac{V_k - V}{t} + \frac{V_k - V_p}{t_1} \quad (5)$$

- Q_{out} = pumpattu virtaama pumppaamon ollessa käynnissä ajan hetkellä t (l/s),
- V_k = tilavuus pumppujen käynnistyessä (l),
- V_p = tilavuus pumppujen pysähtyessä (l),
- V = tilavuus hetkellä t (l),
- t_1 = pysähdyksissäoloaika (s),
- t = aika käyntijakson alusta.

Yhtälön ensimmäinen termi kuvaa pumppaamolla lähtevää virtaamaa ajan hetkellä t . Toinen termi kuvaa edellisen pumppauskerran virtaamaa. Tämän pumppauksen kanssa samanaikaisesti tapahtuvan tulovirtaaman olevan sama kuin edellisellä pumppauskerralla ja se lisätään ensimmäiseen termiin. Lopputuloksena saadaan pumppaamon pumppaama vesimäärä ajan suhteen.

Kaavassa 5 tulovirtaama on oletettu vakioksi, vaikka todellisuudessa tulovirtaaman arvo vaihtelee. Tilanteessa, jossa vettä tulee pumppaamoon enemmän kuin mitä pumpput ehtivät pumpata, oletus aiempaa vastaavasta tulovirtaamasta on väärä.

Astiamittaus on riippuvainen pumppaamon imukaivon tilavuudesta erityisesti käynnistys- ja pysäytysrajojen kohdalla. Pysäytysrajaa ei koskaan määritellä siten, että koko imukaivo tyhjennettäisiin kokonaan yhdellä pumppauskerralla. Imukaivojen tilavuuden määrittäminen on astiamittauksessa olennaista, jotta mittaus olisi mahdollisimman tarkkaa. Pumppaamoiden logiikka ottaa huomioon imukaivossa olevan veden määrän tilavuutena, jonka se laskee siihen määritettyjen parametrien avulla. Nämä parametrit ovat imukaivon pohjan pinta-ala sekä käynnistys- ja pysäytysrajojen korkeus. Pohjan pinta-alan määrittäminen on monella pumppaamolla vaikeaa, koska imukaivojen pohjat ovat usein epäsäännöllisiä. Pumppaamosta

riippuen pysäytysrajan korkeus voi olla imukaivon vinon osuuden kohdalla. Tällainen tilanne vaikeuttaa logiikan parametrien asetusta. Pohjan pinta-alan määrittäminen ei ole helppoa, sillä tätä varten imuallas tulisi tyhjentää kokonaan ja pumppaamo pitäisi pysäyttää määrittämisen ajaksi. Kuitenkin jo imukaivojen oikean pohjapinta-alan määrittäminen voisi tarkentaa virtaamadatan laatua merkittävästi.

4.4. Nimellistuottoarvot

Tässä menetelmässä lähtövirtaama määritetään kertomalla pumppujen käyntiaika pumppujen nimellistuotolla. Nimellistuottoarvo on pumpun valmistajan ilmoittama arvo, joka voidaan tarkistaa pumpun kilvestä (Saarinen 2015). Pumpun ollessa käynnissä virtaama on pumpun ilmoitetun nimellistuoton suuruinen. Jos pumppaamossa on kaksi pumppua, jotka toimivat yhtä aikaa, niin nimellistuottoarvo on pumppuyhdistelmän nimellistuoton suuruinen. Nimellistuottolaskenta aloitetaan vasta pumppujen käynnistyttyä laskentaviiveen kuluttua. Tämän vuoksi pumppaamon logiikkaan tallennetaan pumppujen nimellistuottoarvot jokaisessa mahdollisessa tilanteessa. (Jalonen 2012)

Nimellistuottoarvoilla laskettu virtaama on varsin tarkka ja luotettava silloin, kun pumppujen tuotto todella vastaa nimellistuottoa. Nimellistuottoarvoissa on silti hyvä huomioda, että pumpun nimellistuotto laskee pumpun ikääntyessä. Tämä on yksi syy, miksi pumpun vaihto voidaan aikanaan joutua tekemään. Lisäksi jos pumppaamossa kaksi pumppua toimii yhtä aikaa, logiikkaan on asetettava myös kahden pumpun yhtäaikaisen käytön määritetty nimellistuottoarvo. Jos tätä ei oteta huomioon, virtaamadata nimellistuoton pohjalta laskettuna ei ole enää luotettavaa.

4.5. Muita menetelmiä

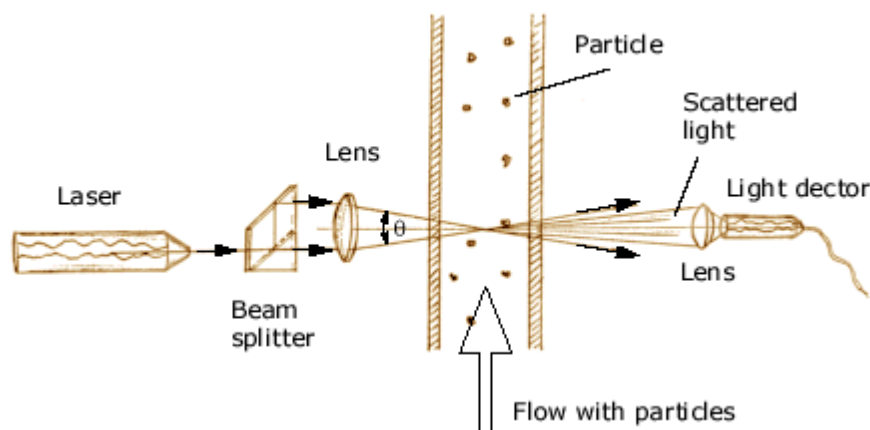
Tässä osiossa käydään läpi kolmea eri virtaaman mittaamenetelmää, joita voitaisiin hyödyntää jäteveden virtaaman mittauksissa.

4.5.1. Laser Doppler-nopeusmittari

Laser Doppler-mittarin sopii hyvin paikallisen virtaaman mittaamiseen. Mittarilla voidaan arvioida nesteen virtausnopeutta ja suuntaa. Yksinkertaisimmassa muodossaan mittari luo kaksi monokromaattista laservaloa, jotka risteävät mitattavassa nesteessä. Heijastetun säteilyn aallonpituus muuttuu säteilyn läpäistäessä nesteen

ja muutos on nesteen keskimääräisen nopeuden funktio. Tämä tunnetaan Dopplerin ilmiönä, josta mittari on saanut nimensä. (Sengupta 2006)

Kuvassa 15 on esitetty Laser-Doppler-mittarin toimintaperiaate.



Kuva 15. Laser Doppler-mittarin toimintaperiaate (Sengupta 2006).

Laser Doppler-mittaria ei usein käytetä jäteveden virtaaman mittaamiseen, mutta sovelluksena se sopii tarkoitukseen. Mittarin suurin etu on, että sen osien ei tarvitse olla kontaktissa mitattavan nesteen kanssa. Putkivirtauksen mittauksessa ongelmana tosin on, että laser ei voi läpäistä putken seinämää. Laser voi kuitenkin läpäistä kirkkaasti läpinäkyvän materiaalin. Mittarin asentaminen viemärikaivoon voi olla yksi tapa saada mittari toimimaan.

Mittari itsessään ei pysty mittaamaan mitattavan nesteen tilavuusvirtamaa, mutta jos nesteen nopeus tunnetaan, virtaaman voi laskea yksinkertaisella yhtälöllä:

$$Q = A * v \quad (6)$$

Yhtälössä Q on virtaama (m^3/s), A on virtauksen poikkipinta-ala (m^2) ja v on virtausnopeus (m/s). Tämä yhtälö pätee sillä oletuksella, että tunnetaan, kuinka paljon poikkipinta-alaa virtaava neste käyttää putkesta tai kourusta. Monissa tapauksissa tätä pinta-alaa on vaikea määrittää.

4.5.2. Siivikkomittari

Siivikkomittari on vanha mittausmenetelmä, jota käytetään enemmän vesistöjen virtausnopeuden määrittämisessä, mutta sitä voidaan käyttää myös jäteveden vir-

taaman mittaamiseen esimerkiksi kaivoissa. Mittauksessa määritellään kourun poikkileikkauksen pinta-ala ja keskimääräinen virtausnopeus. Siivikkomittarin siivekkeet ovat potkurimaisia. Virtaava vesi saa siivekkeet pyörimään ja siivikon pyörimisnopeus on verrannollinen virtausnopeuteen. (Korhonen 2007)

Siivikkomittauksessa siivikon pyörimisnopeus muutetaan sähköiseksi signaaliksi osoittamaan suoraan virtaaman arvo. Tämä mittaus voidaan suorittaa putkessa tai avouomassa. Varsinkin pienissä putkissa siivekkeet täyttävät koko putken poikkipinta-alan, mikä tarkoittaa virtaaman arvoa. Suurissa putkissa siivikko ei välttämättä täytä koko poikkipinta-alaa, mutta siivikon lukema voidaan muuntaa osoittamaan koko putken poikkipinta-alaa. Putkivirtauksessa virtaaman mittaamisen lähtökohtana on täyden putken virtaama. Vajaatäytteisen putken mittaus tapahtuu kuitenkin avouomassa, koska avouomat ja vajaat putket voidaan olettaa olevan puolikaaren muotoisia. (Karttunen, 2004)

Siivikkomittausten tarkkuus on $\pm 0,35\text{--}2,0\%$ mitatusta virtaaman arvosta. Parhaiten mittari toimii virtausnopeuden ollessa 1-10 m/s. Mittaria voidaan käyttää hitaammillekin nopeuksille, mutta tarkkuus voi huonontua edellä mainituista arvoista. Mittarin aiheuttamat häviöt pysyvät yleensä pieninä, jos virtaus on akselin suuntainen. Vastakohtaisessa virtauksessa häviöt ovat suurempia.

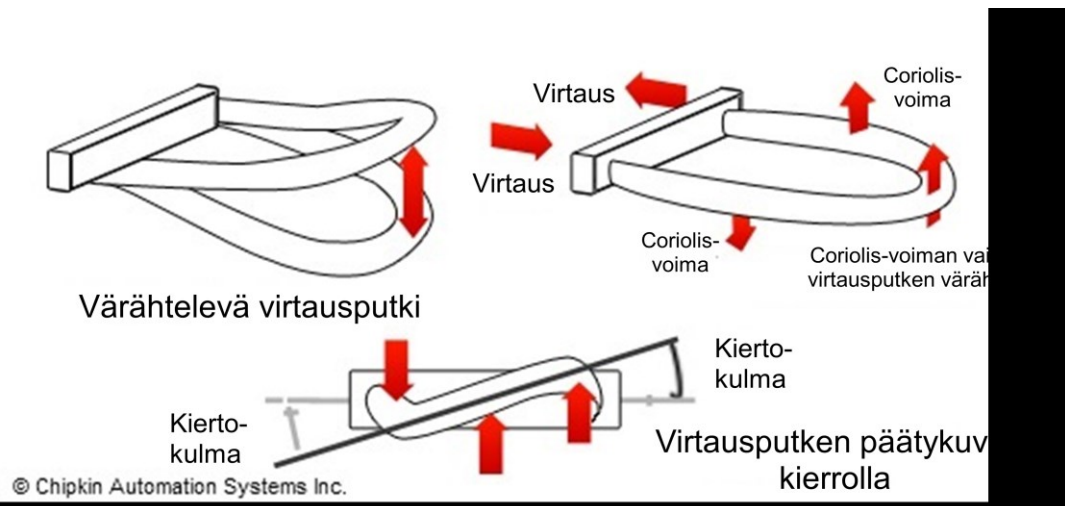
Siivikkomittarien haittoina on niiden herkkyys epäpuhtauksille ja virtauksen turbulenttisuudelle. Jätevesissä epäpuhtaudet ovat varsin yleisiä ja suurissa putkissa turbulenttisuus voi olla myös mahdollista. Siivikkomittarit ovat erittäin herkkiä turbulenttisuudelle, jolloin mittaustulokset voivat olla epätarkkoja. (Karttunen, 2004)

4.5.3. Coriolis- massavirtaamamittari

Coriolis-voimaan perustuva virtausmittaus perustuu värähtelyjen mittaamiseen, joita virtausputkessa tapahtuu virtaaman aikana. Mittarin tyyppiominaisuus on Newtonin toinen laki, eli $F = ma$. Näin mittari toimii lineaarisesti, ja on siten yksinkertainen. Mitattava virtausputken värähtely on suoraan verrannollinen virtaavaan massavirtaan. Mittarilla saadaan laskettua suoraan virtaava kokonaismassavirta, sillä mittaustulos on väliaineen massa kertaa virtausnopeus. Koska mittari mittaa massavirtaa, se ei anna suoraan tulokseksi tilavuusvirtaamaa. Tilavuusvirtaaman laskemiseksi on tällöin tunnettava väliaineen tiheys. Coriolis-

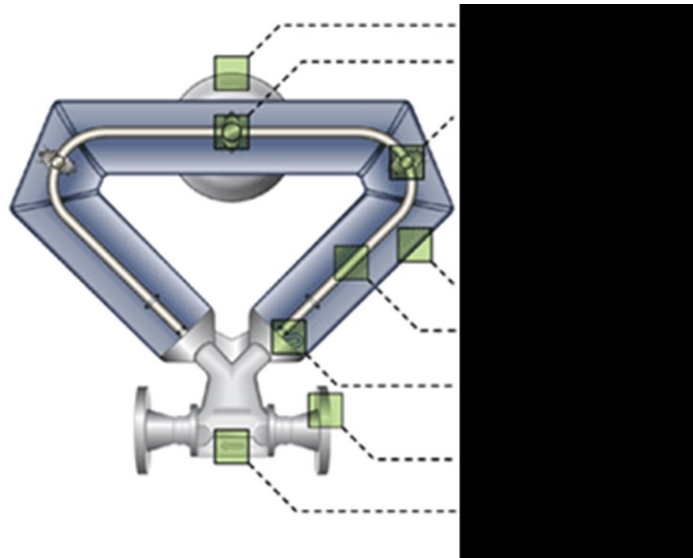
massavirtaamamittarin etuna onkin, että se kykenee mittaamaan kolmea suuretta yhtä aikaa: massavirtaa, tiheyttä ja lämpötilaa. (Emerson 2009)

Coriolis-virtaamamittarin toimintaperiaatetta voidaan havainnollistaa U-putken avulla. Virtauksesta aiheutuva coriolis-voima saa u-putken värähtelemään kuvan 16 mukaisesti. Coriolis-voima aiheuttaa putkelle pieniä, mutta havaittavia muodonmuutoksia. (Emerson 2009)



Kuva 16. Coriolis-voiman aiheuttama muodonmuutos U-putkessa. Kuva suomennettu. (Chipkin 2012)

Mittarityypin etuina on suoraan mittauksesta saatava kokonaismassavirta, erinomainen tarkkuus ja sijoituksen vapaus. Mittari ei tarvitse suoraa putkiosuutta ja huoltotarve on vähäinen, koska siinä ei ole liikkuvia osia. Mittarin virhemarginaali voi olla jopa vain 0,05 %. Mittari voidaan asentaa mutkaiselle putkiosuudelle mitaustuloksen siitä kärsimättä. Kuvassa 17 on esitetty coriolis-massavirtaamamittarin periaatekuva. (Emerson 2009)



Kuva 17. Coriolis-massavirtaamamittarin periaatekuva. Kuva suomennettu. (Emerson 2009)

Coriolis-mittarilla voidaan mitata lähes mitä tahansa, kuten nesteitä ja kaasuja. Näin ollen se soveltuisi myös jätevesien virtaaman mittaamiseen, mutta mittarin haittapuolena on sen suuri tilantarve. Mittari tarvitsee asennuspaikan ympäriltä paljon tilaa, jotta se voi toimia ilman ulkoisia häiriötekijöitä. Mittarit ovat varsin herkkiä ulkoisten tekijöiden aiheuttamalle tärinälle. Mittarin värähtelevä U-putki voi olla hyvinkin suurikokoinen.

4.6. Yhteenveto mittaustavoista

Taulukkoon 3 on koottu yhteenveto eri virtaaman mittaustavoista ja niiden eduista, puutteista ja yleisistä virhelähteistä.

Taulukko 1. Yhteenveto virtaaman mittausmenetelmistä.

Mitta- ri/mittaustapa	Toiminta- periaate	Mitattavat suureet	Virheläh- teet	Edut	Puutteet
Magneettimit- tari	Sähkö- mag- neetti	Virtaama (l/s tai m ³ /h)	Ilma put- kessa, saos- tumat	Hyvä mit- taustarkkuus, mittaa vir- taamaa myös vajaassa putkessa, vähän huol- totarvetta	Tarvitsee tarpeeksi suoraa put- kea toimiak- seen varmas- ti
Ultraäänimitta- ri	Ultraääni- signaalin kulkuai- kaero	Virtaama (l/s)	Ilma put- kessa, vajaa putki	Siirrettävyys, hyvä mit- taustarkkuus, pieni tilan- tarve, ei huoltotarvet- ta	Tarvitsee tarpeeksi suoraa put- kea toimiak- seen varmas- ti
Astiamittaus	Imualtaan tilavuus	Virtaama (l/s) ja tila- vuus (l)	Virheelliset paramet- riarvot, muuttuva tulovirtaama	Ei tarvita erillistä mit- taria	Suurien vir- taamien ai- kana tieto usein virheel- listä
Nimellistuotto	Pumppu- jen nimellis- tuottoar- vot	Virtaama (l/s)	Virheelliset paramet- riarvot, tuoton pie- nentyminen pumpun vanhenemi- sen myötä	Ei tarvita erillistä mit- taria	
Laser-Doppler	Kaksi la- servaloo- risteävät	Virtausno- peus (m/s)	Läpäisemä- tön materi- aali	Soveltuu vajaan put- ken mittauk- seen	Vaikea asen- taa viemäriin
Siivikkomittari	Siivikon pyörimis- nopeus	Virtausno- peus (m/s)	Virtauksen epäsään- nöllisyys	Siirrettävyys, sopii viemä- rikaivoon	Staattinen asennus vai- keaa
Coriolis- massavirtaa- mamittari	Virtaus- putken värähtely	Massavir- taama (kg/s), tiheys (kg/m ³), lämpötila	Tärinäherk- kyys	Useita eri mitattavia suureita, hyvä mit- taustarkkuus	Suuri tilan- tarve

5. Yleiset virhelähteet

Virtaaman mittaamiseen, kuten mittaamiseen yleisesti, liittyy erilaisia virhelähteitä. Virhelähteet vaikuttavat joko suorasti tai epäsuorasti virtaamadatan luotettavuuteen. Luotettavuus tulisi ottaa huomioon jo viemäriverkkojen ja laitosten suunnittelussa.

Viemärivirtaaman mittaamisen virhelähteet liittyvät pumppaamoilla enimmäkseen automaatiojärjestelmään ja siihen liittyviin ominaisuuksiin. Mittarit aiheuttavat virheitä silloin, kun ne on asennettu väärin. Automaatiojärjestelmien logiikoissa ilmenevät ongelmat tai väärin asetetut parametrit voivat aiheuttaa merkittäviä virheitä virtaamadataan.

Putkivirtauksien yksi suurimmista epävarmuustekijöistä on vajaatäytteinen putki. Monet mittaamenetelmät vaativat virtauksen täydessä putkessa, jotta mittaus olisi mahdollisimman tarkka. Vajaatäytteiset putket ovat kuitenkin yleisimpiä jätevesiputkistoissa. Vajaatäytteisten putkien virtaaman mittaamiseen on kehitelty keinoja (Kukkonen 2002).

5.1. Virtaustyyppin vaikutus

Jätevesi virtaa putkistoissa, jolloin virtaukseen pätee hydraulikan säännöt. Virtaamia tutkittaessa on tärkeää tietää, minkälaisesta virtauksesta on kyse. Virtaus voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin:

- laminaarinen virtaama
- siirtymävirtaama
- turbulenttinen virtaama

Laminaarinen virtaus yleensä yhdistetään hitaisiin, viskooseihin nesteisiin. Putkivirtauksessa pyritään laminaariseen virtaukseen, mutta luonnossa se on suhteellisen harvinainen. Turbulenttinen virtaus on nopeampi ja kaoottisempi ja luonnossa yleisemmin esiintyvä. Siirtymävirtaama tapahtuu virtauksen muuttuessa laminaarista turbulenttiseksi. (Hamill 2001)

Laminaarisessa virtauksessa vesi virtaa muodostaen ikään kuin yhdensuuntaisia virtaussylintereitä. Lähinnä putken seinää virtaava vesi virtaa adheesiovoimien avulla takia hitaammin kuin sen sisäpuolella oleva ja näin jatkuu putken keskiosaan saakka, jossa virtaus on nopeinta. Laminaariselle virtaukselle on ominaista, että nopeusero putken seinää lähinnä olevien kerrosten kanssa verrattuna keskellä virtaavaan veteen on suuri. (Karttunen, 2003)

Turbulenttisessa virtauksessa seinää lähinnä virtaava vesi on pyörteisessä liikkeessä sekoittuen keskeemmällä nopeammin virtaavaan nesteeseen hidastaen sen nopeutta. Vesi virtaa tällä tavalla putken keskiosaan saakka ja täten veden nopeuserot seinämän vieressä ja putken keskiosassa ovat pieniä. Nopeudet tasoittuvat veden virratessa nopeammin, jolloin turbulenttisuus kasvaa. (Karttunen, 2003)

Eri virtaustyyppit tarvitsevat erilaiset lähestymistavat, koska jokaisen virtaustyyppin ominaisuudet eroavat toisistaan. Yksinkertaisia laminaarisia virtauksia voidaan tutkia matemaattisesti, koska virtauksen muutokset ovat pieniä ja monet matemaattiset yhtälöt pätevät. Turbulenttisessa virtauksessa virtaus on liian epäsäännöllinen ja monimutkainen, jotta sitä voitaisiin tutkia matemaattisesti. (Hamill 2001)

Osborne Reynolds (1842-1912) selvitti, että virtauksen laatu putkissa on riippuvainen putken halkaisijasta (D), nesteen tiheydestä (ρ), nesteen dynaamisesta viskositeetista (μ) ja virtausnopeudesta (V). Nämä termit voidaan yhdistää muodostamaan Reynoldsin luku (Re) seuraavan yhtälön muodossa:

$$Re = \rho V D / \mu \quad (2)$$

Reynoldsin kaava lähtee siitä perusolettamuksesta, että putki on täynnä vettä. Mikäli putki on vajaa, käytetään avouomavirtauksen menetelmiä. (Karttunen, 2003)

Veden kohdalla eri virtaustyyppi putkessa voidaan määrittää Reynoldsin luvun avulla seuraavan taulukon perusteella. (Hamill 2001)

Taulukko 2. Virtaustyyppit putkessa Reynoldsin luvun avulla lausuttuna. (Hamill 2001)

Virtaustyyppi	Reynoldsin luku
Laminaarinen virtaus	$Re < 2000$
Siirtymävirtaus	$2000 \leq Re \leq 4000$
Turbulenttinen virtaus	$Re > 4000$

Virtaus viemäriputkessa on yhtälön 2 perusteella suhteellisen herkkä turbulenttisuudelle. Esimerkiksi maaviemäroinnissä käytettävät polypropeeniputket (esim. Uponor Ultra) ovat halkaisijaltaan 160 - 400 mm. Laskennoissa putken halkaisijan arvo ilmoitetaan usein metreissä. Viemärivereden tiheys ja viskositeetti ovat myös herkkiä muutoksille. Liitteessä 1 on taulukoitu veden tiheydet ja viskositeetit eri lämpötiloissa paineessa 101,325 kPa. On silti huomioitava, että viemärivereden tiheyteen ja viskositeettiin vaikuttaa myös veden mukana virtaava liuennut aines. Liuennesta aineesta riippuen tiheys ja viskositeetti ovat taulukoituja arvoja joko suurempia tai pienempiä.

5.2. Pumppaamon ominaisuudet

Jäteveden pumppaamon omat rakenteelliset ominaisuudet voivat aiheuttaa ongelmia virtaamadatan luotettavuudessa. Pumppaamot koostuvat pääasiassa pumpuista, imualtaasta, putkistoista ja elektroniikasta. Joillakin pumppaamoilla voi olla myös puhdistuslaitteita.

Tuloputken tukkeutuminen lika-aineksella on mahdollista, joskin epätodennäköistä. Suurempi ongelma tuloputken kannalta on sen patoutuminen. Patoutumisella tarkoitetaan sitä, että imualtaan veden pinta nousee yli tuloputken ennen kuin pumput käynnistyvät, tai silloin kun pumppaamolle tulee enemmän vettä kuin pumput ehtivät pumpata. Jos pumppaamon käynnistysraja on vasta tuloputken jälkeen, tuloputki patoutuu, koska imualtaaseen virtaava vesi pyrkii virtaamaan takaisin tuloputkeen. Tällöin imuallas täyttyy hitaammin. Pahimmassa tapauksessa imuallas alkaa täyttyä patoutumisen takia niin hitaasti, että vesi alkaa pilaantua

joutuessaan anaerobiin tilaan. Jotta pumppaamo toimisi moitteettomasti ja virtaamadata olisi tuloputken osalta luotettavaa, käynnistysrajan tulisi olla tuloputken alarajalla tai juuri ennen sitä.

Padotus ei käytännössä aina ole ongelma. Tuloputken patoutumisella voidaan esimerkiksi vähän suurentaa imukaivon tilavuutta (Lukkarinen, M. 2015).

5.3. Mittareiden vaikutus

Yksi merkittävimpiä syitä mittauksen epävarmuuteen on mittarin asennuspaikka. Mittarin asennuspaikan vaikutus mittaukseen vaihtelee paljon, noin 0 ± 30 %. Tiedot virtausolosuhteista ja niihin vaikuttavista tekijöistä ovat usein epäluotettavia, koska niistä ei ole tarpeeksi tietoa. Virtausolosuhteiden muutokset ajan myötä, esimerkiksi putkien karheuden muutokset, vaikuttavat osaltaan mittauksen epävarmuuteen. Pääosa mittauksien epävarmuuksista johtuu mittarin ulkopuolisista tekijöistä. Tämän vuoksi kokonaismittaustarkkuutta ei voida paljoa parantaa mittaria vaihtamalla. (Pöyry 2011)

Tärkein vaikuttava tekijä virtaamadataan luotettavuuteen on virtausmittarin asennuspaikka, sillä on mahdollisimman paljon suoraa osuutta ennen ja jälkeen sijoituspaikkaa. Suorissa putkiosuuksissa virtaamaan vaikuttavat häiriötekijät ovat pienimmät, koska vesi virtaa laminaarisemmin kuin mutkaisissa osuuksissa. Lisäksi mittalaite tulisi asentaa siten, että sen kalibrointi ja tarvittavat huollot voidaan tehdä mahdollisimman helposti. Mittarin sijoituksen kannalta tulisi ottaa huomioon sijoitustilan lämmönvaihtelu, värinä, korroosio ja puhtaus. Jäteveden tapauksessa varsinkin korroosio ja puhtaus vaikuttavat merkittävästi. Jos jätevedessä virtaa paljon liukenematonta kiinteää ainesta, se voi vaikuttaa virtaamadataan laatuun merkittävästi. Korroosio on jäteveden kannalta otettava huomioon tarkemmin kuin puhtaan veden kannalta (Karttunen 2003). Värinää aiheutuu putkistoissa siihen liitettyjen laitteiden, kuten pumppujen, toiminnasta aiheutuvan liikkeen toimesta.

5.4. Automaatiojärjestelmän virhelähteet

Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut teki maaliskuussa 2015 kartoituksen pumppaamoidensa tilasta. Kartoituksessa olevista 530:tä pumppaamosta 158:n pumppaamon tila arvioitiin huonoksi, 293:n pumppaamon tila oli hyvä ja loppujen 80:n

tila oli epävarma. Alla on listattu kartoituksessa arvioituja yleisimpiä syitä pumpppaamoiden heikkoon tilaan.

- vanha logiikka
- ruuvipumppaamo
- pumppaamon tuotto on määritetty logiikkaan liian pieneksi tai suureksi
- mittaukset eivät toimi tai ovat epävarmoja
- tuottokäyrien laskennassa on ongelmia
- tieto ei kulkeudu valvomoon esimerkiksi tiedonsiirtokapasiteetin ylittyttyä
- asetetuissa parametriarvoissa on ongelmia, esimerkiksi imukaivon pohjan pinta-ala on väärä

Vanhat logiikat ovat ongelmallisia virtaamatojen suhteen lähinnä siksi, että niissä on usein keuhko käyttöliittymä. Lisäksi niissä olevat ei niin kriittiset lisäominaisuudet eivät toimi. Vanhat logiikat pystyvät ohjaamaan pumppaamon toimintaa, mutta kun logiikkaan asetetaan tarvittavia parametriarvoja, on mahdollista, että asentajalla ei ole tarpeeksi tietoa parametriarvojen oikeellisuudesta. Logiikan toimivuus on riippuvainen toimittajista. Uuden ja vanhan logiikan suurimmat erot ovat käytettävyyden, hälytystiedot ja kerättävän datan monipuolisuus ja laatu. Uusissa logiikoissa erityisesti datan laatu voi olla merkittävästi vanhaa logiikkaa parempi. (Saarinen P. & Lukkarinen T. 2015)

Yleisin toimenpide pumppaamoon, jonka tila on heikko vanhan logiikan takia, on ala-aseman vaihto. Ala-asema on kaukokäyttöjärjestelmän osa, johon on ohjelmoitu kaukokäyttöjärjestelmän logiikka. Ala-aseman vaihdolla voidaan vaihtaa logiikka kokonaan. Ala-asemien vaihto tehdään tyypillisesti noin viiden vuoden välein. Tämän takia vanhan logiikan suora vaihtaminen on suotavampaa kuin resurssien käyttäminen vanhan logiikan päivityksiin, koska logiikka vanhenee ajan myötä. (Saarinen P. & Lukkarinen T. 2015). Ruuvipumppaamoille ei ole mitään sopivaa toimenpidettä ja niiden toiminnan luonteen vuoksi niistä on vaikea saada luotettavaa virtaamatietoa.

Tiedonsiirtokatkot ovat yksi yleisimmistä syistä virheelliseen virtaamadataan. Eri-tyisesti sateinen sää häiritsee tiedonsiirtoa. Tiedonsiirron häiriintyessä on silti muistettava, että se ei itsessään vääristä virtaamadataa. Katkon aikana kokonaisvirtaama ei katoa, mutta sen tarkastelu tuntikohtaisesta datasta vaikeutuu, koska da-

tassa on katkon takia ilmennyt pitkä rivi nollia, ja niiden jälkeen seuraa kompromissina yksi iso luku. Tämä voi olla yksi syy virtaamadatassa ilmeneviin piikkiarvoihin etenkin astiamittauksessa, jolloin yhden hetken virtaamadatan arvo on selvästi mahdoton. (Antikainen J. 2015)

Taulukossa 5 on esitetty esimerkki tapauksesta, jossa on sattunut pitkä tiedonsiirtokatko, ja kuinka se on vaikuttanut virtaamadataan. Esimerkkidatat on saatu kolmelta eri HSY:n pumpppaamolta tuntikohtaisesti ajalta 19.8.2015-20.8.2015.

Taulukko 3. Tiedonsiirtokatkon vaikutus virtaamadataan.

	Lähtövirtaamat [m3]		
Aika	Vattuniemenkuja [JVP1137]	Laivanrakentaja [JVP1148]	Laajasalo [JVP1065]
19.8.2015 7:00	168	318	204
19.8.2015 8:00	0	193	121
19.8.2015 9:00	0	0	0
19.8.2015 10:00	0	0	0
19.8.2015 11:00	0	0	0
19.8.2015 12:00	0	0	0
19.8.2015 13:00	0	0	0
19.8.2015 14:00	0	0	0
19.8.2015 15:00	0	0	0
19.8.2015 16:00	0	0	0
19.8.2015 17:00	0	0	0
19.8.2015 18:00	0	0	0
19.8.2015 19:00	0	0	0
19.8.2015 20:00	0	0	0
19.8.2015 21:00	0	0	0
19.8.2015 22:00	0	0	0
19.8.2015 23:00	0	0	0
20.8.2015	0	0	0
20.8.2015 1:00	0	0	0
20.8.2015 2:00	0	0	0
20.8.2015 3:00	0	0	0
20.8.2015 4:00	0	0	0
20.8.2015 5:00	0	0	0
20.8.2015 6:00	0	0	0
20.8.2015 7:00	0	0	0
20.8.2015 8:00	0	0	0
20.8.2015 9:00	0	0	0
20.8.2015 10:00	0	0	0
20.8.2015 11:00	0	0	0
20.8.2015 12:00	0	0	0
20.8.2015 13:00	0	0	0
20.8.2015 14:00	0	0	0
20.8.2015 15:00	0	0	0
20.8.2015 16:00	0	0	0
20.8.2015 17:00	0	0	0
20.8.2015 18:00	6334	9990	6664

Taulukon 5 perusteella huomataan, että pumppaamoilta on saatu virtaamadataa arvolla nolla noin 20 tunnin ajan. Jos valvomo ei saa pumppaamon logiikalta vastausta, virtaamadata saa automaattisesti arvon nolla. Kun tiedonsiirtokatko on ohi, valvomo saa pumppaamoilta yllättävän suuria virtaaman arvoja. Nämä arvot eivät mitenkään ole voineet tulla yhden tunnin aikana, kun arvoja vertaa virtaaman arvoihin juuri ennen katkoa. Syynä näihin arvoihin on, että katkon aikana jokainen mitattu arvo on tallennettu pumppaamon logiikan muistiin kumulatiivisesti. Näin ollen logiikka on katkon jälkeen laskenut mitatut virtaamat yhteen.

Yhteyskatkojen lisäksi tiedonsiirrossa on muitakin ongelmia. Pollaavissa järjestelmissä, kuten radiomodeemiverkossa, aikaleimaukset tapahtuvat pumppaamolla ja valvomossa. Pumppaamon ja valvomon välisten aikaleimausten aikaeron vuoksi on mahdollista, että valvomolle tullut tieto on saapuessaan jo vanhentunutta. Tiedonsiirtonopeudella on olennainen merkitys tähän vaikutukseen. Mikäli tiedonsiirtonopeus on ollut ilman katkoja jostain syystä hidas, valvomolle saapunut data voi olla jo vanhentunutta. Laitoksella ei kuitenkaan ole mahdollisuutta hylätä tätä saapunutta dataa. Tämä ei kovin paljoa vaikuta virtaamadatan luotettavuuteen, mutta pumppaamon ja valvomon välisten aikaleimausten tulisi olla mahdollisimman samanaikaiset. (Antikainen, J. 2015)

5.5. Virtaamadatan tavallisimmat virhetyypit

Virtaamadata voi olla virheellistä monista eri syistä. Tyypillisimpiä virhetyyppejä ovat poikkeava havainto (outlier) ja logiikan tallentama määrittämätön virtaaman arvo. Taulukossa 2 on esitetty esimerkki tällaisesta tilanteesta. Data on saatu HSY:n Siltamäen jätevedenpumppaamon virtaamadatasta 31.5.2015.

Taulukko 4. Esimerkki määrittämättömästä virtaaman arvosta.

Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	192	31.5.2015 11:50	112,0899
Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	192	31.5.2015 11:52	111,09
Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	192	31.5.2015 11:53	108,2903
Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	192	31.5.2015 11:55	106,7904
Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	0	31.5.2015 11:56	(null)
Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	192	31.5.2015 11:57	0
Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	192	31.5.2015 12:09	105,5905
Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	192	31.5.2015 12:10	104,1906
Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	192	31.5.2015 12:12	97,7912
Lähtövirtaama (määrittystapa 1)	192	31.5.2015 12:14	100,6909

Lisäksi virtaaman arvoissa voi olla systemaattista virhettä, jolloin virtaaman taso on jatkuvasti väärä.

Mahdoton virtaaman arvo voi johtua esimerkiksi logiikan virheellisestä laskennasta. Logiikka laskee virtaaman arvot siihen asetettujen asetusten mukaisesti. Virheellistä laskentaa tapahtuu silloin, jos asetukset ovat väärin. Mahdottomia virtaaman arvoja voi tapahtua myös tiedonsiirtokatkojen seurauksena. Tästä tapauksesta on kerrottu enemmän kappaleessa 7.

Logiikan tallentama määrittämätön virtaaman arvo on ilmennyt tiedonsiirron seurauksena. Tämä voi toimia merkinä siitä, milloin data on lähetetty logiikalta valvomoon. Virtaamadatassa tämä ilmenee usein arvona, joka on tallennettu merkkijonona "null". Nämä arvot ovat tuntemattomia, eikä niitä voi määrittää luvuksi.

Virtaamatoja analysoidessa tämä tuntematon arvo voidaan yleensä jättää käsittelemättä. Jos näin ei tehtäisi, virtaamadataa voi olla vaikea analysoida tarkasti.

6. HSY:n pumppaamoiden esimerkkiesittelyt

Helsingin Seudun Ympäristöpalveluiden toimialueella sijaitsee noin 500 jätevedenpumppaamoa. Tässä osiossa tutustutaan lyhyesti kolmeen toiminnaltaan erilaiseen jätevedenpumppaamoon ja tapoihin, joilla näistä pumppaamoista voidaan saada virtaamatietoa sekä selvitetään keinoja, kuinka näistä pumppaamoista saatua dataa voitaisiin parantaa.

Ensimmäiseksi tutustuttiin HSY:n Jokivarren pumppaamoon. Pumppaamo on pakettipumppaamo, joka saneerattiin vuonna 2014.



Kuva 18. Jokivarren jätevesipumppaamo.

Pumppaamo koostuu kolmesta eri kaivosta ja sähkökeskuksesta. Sähkökeskuksessa on myös pumppujen taajuusmuuntajat. Kuvan 18 mukaan katsottuna vasemmanpuoleisin kaivo on pumppaamon imuallas. Imuallas on säännöllisen lieriön muotoinen (kts. kuva 19), jonka tilavuuden voi laskea lineaarisesti lieriön tilavuuden kaavalla.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h \quad (8)$$

Tilavuutta laskiessa voi olla hyvä huomioida kaikki imukaivon sisällä olevat putket ja muut osat, jotka pienentävät kaivon tilavuutta.



Kuva 19. Jokivarren pumppaamon imuallas.

Imualtaan alaosassa on viemäriveden tuloputki. Tuloputken kautta vettä virtaa imualtaaseen, jolloin veden pinta nousee. Pumppaamon pumpput ovat uppopumppuja, eli ne sijaitsevat imualtaan pohjalla veden alla. Kun veden pinta on saavuttanut tuloputken, pinta on saavuttanut pumppujen käynnistysrajan. Tällöin pumpput käynnistyvät ja ne pumppaavat vettä pois imualtaasta siinä olevien putkien kautta. Imualtaan viereisessä kaivossa ovat pumppujen putket ja venttiilit, jotka yhdistyvät. Tämä kaivo on esitetty kuvassa 20. Koska Y-haaran kohdalla kaksi virtausta yhdistyy, on hyvin todennäköistä, että risteyskohdassa virtaus muuttuu turbulentiseksi.



Kuva 20. Jokivarren pumppujen putkisto.

Kolmas kaivo on pumppaamon mittarikaivo, jossa sijaitsee pumppaamon magneettimittari virtausmittausta varten (kts. kuva 21). Jokivarren pumppaamolla on magneettimittarin lisäksi myös astiamittaus ja pumppujen nimellistuotosta laskettu mitaus. Mittaustapojen tuloksia verrattaessa keskenään ei ole nähtävissä suuria eroja. Tästä voidaan päätellä, että Jokivarren pumppaamon toiminnassa ei ole juuri minikäänlaisia häiriötekijöitä, jotka heikentäisivät virtaamadatan laatua ja luotettavuutta. Suurin syy epäluotettavuuteen on todennäköisimmin automaatiojärjestelmän datakapasiteetin ylittyminen, jolloin dataa on tullut enemmän kuin sitä on saatu siirrettyä. Tiedonsiirrosta aiheutuvat ongelmat ovat myös mahdollisia.



Kuva 21. Jokivarren pumppaamon mittarikaivo.

Toisena esimerkkinä on Latokartanon jätevesipumppaamo. Pumppaamo on suhteellisen vanha, maan alle rakennettu betonipumppaamo. Latokartanon pumppaamo on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Latokartanon jätevesipumppaamo.

Pumppaamoon kuuluu pumppuhuone, jossa on itse pumpput ja sähkökaappi, ja imukaivo. Toisin kuin Jokivarren pumppaamon, Latokartanon pumppaamon imuallas ei ole säännöllisen muotoinen. Sen pohja on osittain vino ja se vaikeuttaa imualtaan pohjan pinta-alan tarkkaa määrittämistä, ja siten myös tilavuuden määrittämistä. Imuallas ja pumppuhuone on erotettu betoniseinällä toisistaan, eli Latokartanon pumppaamon pumpput ovat kuivan asennuksen pumppuja. Pumppaamon pumpput on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Latokartanon pumppaamon pumput.

Latokartanon pumppaamossa on kaksi pumppua, jotka toimivat vuorotellen. Pumput käyvät noin 4 - 6 kertaa tunnissa. Pumppaamossa on virtausmenetelminä käytettävissä astiamittaus ja pumppujen nimellistuotto. Magneettimittaria pumppaamoon on vaikea asentaa, koska pumppaamolla ei ole juuri ollenkaan laajennusvara. Pumppaamossa on vanhanaikainen tikkumittari, joka toimii magneettimittarin periaatteella, mutta nykyään se on pois käytöstä. Pumppaamon imukaivo on betoniallas, jonka pohja on vino. Imuallas on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Latokartanon pumppaamon imukaivo.

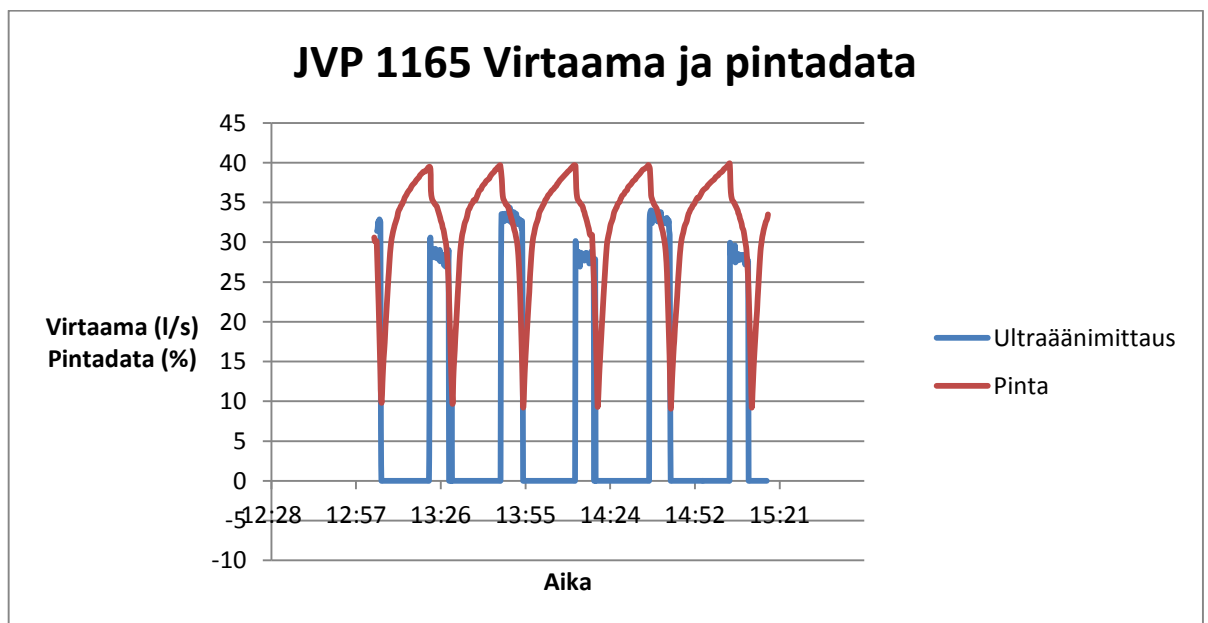
Pumppaamon käynnistysraja on ongelmallinen. Jotta pumppaamo toimisi kunnolla, käynnistysrajan tulisi olla tuloputken rajalla tai ennen sitä. Latokartanon pumppaamon käynnistysraja on kuitenkin vasta tuloputken jälkeen. Tämä aiheuttaa tuloputken padotusta, koska veden pinta nousee yli tuloputken. Padotus tekee sen, että imukaivo alkaa täyttyä hitaammin, koska vesi pyrkii virtaamaan takaisin tuloputkeen. Tämä voi osaltaan aiheuttaa ongelmia virtaamadataan luotettavuudessa.

Latokartanon pumppaamossa suoritettiin tutustumiskäynnillä virtaamatarkastelu käyttämällä siirrettävää ultraäänimittaria. Koska pumppaamolla ei ole magneettimittaria, ultraäänimittarilla voitiin kerätä virtausdataa tarkastelumielessä. Tarkastelussa käytettiin Fleximin Fluxus F601-mallista mittaria. Mittari on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Flexim Fluxus F601-ultraäänimittari.

Mittari koostuu itse mittalaitteesta ja anturista. Anturi kiinnitettiin teräksisen paineputken pintaan, jonka kautta vesi virtaa pumpuista kohti Viikinmäen jätevedenpuhdistamoa. Kuvassa 26 on esitetty ultraäänimittauksesta saatu virtaamadata ja sen vertailu pumppaamon pintadataan.



Kuva 26. Latokartanon ultraäänimittausdata ja pintadata. (HSY 2.7.2015.)

Kuvasta 26 nähdään, että tarkastelun aikana ei ole tapahtunut merkittäviä ongelmia virtaamaa mitattaessa. Pumppaamo on lähtenyt käyntiin ongelmitta, eikä mittauksen aikana ole sattunut virtaamalukemia, jotka eivät olisi realistisesti mahdollisia. Mittarin kiinnityksen jälkeen sen annettiin käydä itsekseen noin kahden tunnin ajan. Mittaus alkoi tarkalleen kello 13:04, ja päättyi noin kello 15:17. Mittari tallensi virtaaman arvon noin 10 sekunnin välein. Virtaaman arvo on nolla aina silloin, kun pumppu ei ole käynnissä. Pumpun käynnistyessä se pumppaa vettä noin 7,5 minuutin ajan, ja sitten se sammuu. Seuraavaan käynnistyskertaan menee aikaa noin 16 minuuttia. Tämän 16 minuutin aikana imukaivo täyttyy uudelleen pumppujen käynnistysrajaan asti. Olisi parempi, jos imukaivo täyttyisi nopeammin, mutta koska pumppujen käynnistysraja on yli tuloputken, siitä aiheutuva padotus hidastaa kaivon täyttymistä. Tämän mittausjakson ajan pumpput käynnistyivät yhteensä kuusi kertaa.

Muutamaan otteeseen mittari ei saanut tallennettua virtaaman arvoa. Tämä johtui mittarista itsestään, jolloin se ilmoitti virheestä. Virheen syytä ei saatu selville. Virtaamadatassa tämä esiintyy tuntemattomana arvona, jota ei voi määrittää.

Lisäksi kerätyssä datassa on imukaivon pintadata. Pintadata ilmaisee imukaivon vedenpinnan korkeuden prosenttiarvona sen ylivuotorajasta. Pumppaamon ylivuotoraja on 100 %. Latokartanon pumppaamon käynnistysraja on noin 40 %, ja pysäytysraja noin 10 %. Jos pintadatan arvo menee yli käynnistysrajan, niin silloin pumpuissa tai elektroniikassa on jotain vikaa. Tarkastelujakson aikana pintadata ei mennyt yli 40 % arvon, joten pumpput toimivat normaalisti. Pumppujen ollessa käynnissä pintadatan arvo laskee ja sammuneina arvo nousee. Imukaivon täyttyessä pintadatan arvo nousee suhteellisen nopeasti, mutta suunnilleen 30 % kohdalla arvo alkaa nousta hitaammin. Tämä johtuu siitä, että veden pinta imukaivossa alkaa saavuttaa tuloputken, jolloin tuloputken padotus alkaa.

Kolmantena esimerkkinä tutustuttiin HSY:n Piispankyläntien jätevesipumppaamoon. Pumppaamo on iso betonipumppaamo, joka on rakennettu noin kuuden metrin syvyyteen. Ulkoa pumppaamo on punainen puurakennus, jonka vieressä sijaitsee myös imuallas. Pumppaamo on kuvattu ulkopuolelta kuvassa 27.



Kuva 27. Piispankyläntien pumppaamo ulkoa.

Pumppaamo on sisältä varsin laaja ja moderni. Pumppaamon nykyinen rakenne on vuodelta 2013. Itse pumput sijaitsevat pumppaamon pohjalla olevassa konetilassa. Pumppuja on tällä hetkellä käytössä kaksi, mutta pumppaamolla on laajennusvaraa vielä kahteen pumppuun lisää. Pumppaamossa käytetään virtausmittausmenetelminä astiamittausta, magneettimittaria ja nimellistuottokäyriä. Magneettimittari sijaitsee pumppujen yläpuolella. U-muotoinen putkiosuus, johon magneettimittari on asennettu, on varta vasten magneettimittaria varten rakennettu, jotta mittari voitiin asentaa mahdollisimman pitkälle vaakasuoralle osuudelle. Muussa tapauksessa se olisi pitänyt asentaa nousevan mutkan jälkeen, joka mahdollisesti olisi voinut aiheuttaa virtaamassa epätarkkuutta. Pumppaamon sisätila on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Piispankyläntien pumppaamo sisältä.

Pumppaamon pumput ovat Xylem Water Solutions Suomi Oy:n toimittamia Flygt-merkkisiä keskipakopumppuja. Pumput on esitetty kuvassa 29. Pumput ovat taajuusmuuntajakäyttöisiä, eli niiden käyntitaajuutta voidaan muuttaa. Automaation ansiosta taajuus muuttuu pumppaustarpeen mukaan itsenäisesti, tai sen voi muuttaa käsikäyttöisesti paikan päällä.



Kuva 29. Piispankyläntien pumppaamon pumput.

Pumpputila on eroteltu imualtaasta, eli Piispankyläntien pumppaamon pumput ovat kuivan asennuksen pumppuja. Pumppaamon magneettimittari on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. Piispankyläntien magneettimittari.

Kuten Jokivarren pumpppaamolla, myös Piispankyläntien pumpppaamolla on taa-juusmuuntajat. Piispankyläntien pumpppaamon pumppujen nimellistaajuus on ase-tettu 45 hertziin, mutta taajuusmuuntajien avulla sen voi säätää joko pienemmäksi tai suuremmaksi. Pumpppaamokäynnillä 2.7.2015 testattiin taajuuden muutoksen vaikutusta virtaamaan ja samalla katsottiin kuinka hyvin toimittajan antamat ni-mellistuetot pitävät paikkansa. Tämä suoritettiin säätämällä pumppujen käyntitaa-juutta käsikäyttöisesti ja vertaamalla saatuja arvoja pumpputoimittajan antamiin tietoihin. Taulukkoon 4 on koottu pumpputoimittajan ilmoittamat tuottoarvot ja mitatut virtaamat ja niiden välinen ero ilmoitettu prosentuaalisesti.

Taulukko 4. Piispankyläntien tarkasteltujen tuottojen erot.

Taajuus (Hz)	Tuotto (l/s)	Virtaama (l/s)	Ero (%)
40	25,9	18,7	-27,80 %
45	63,3	50	-21,01 %
50	101	79,2	-21,58 %

Tulosten perusteella voidaan nopeasti päätellä, että toimittajan antamat tiedot eivät pidä paikkansa. Todellisen virtaaman arvot on noin 20-30 % pienempiä kuin il-

moitettu tuotto. Pienempään arvoon voi kuitenkin olla muita syitä. Pumppujen ikääntyessä niiden tuotto pienenee, jolloin todellisen tuoton arvo on voinut muuttua.

Piispankyläntien imukaivon pohjan pinta-alan arvoksi on asetettu virheellisesti arvoon 49 m^2 . Imuallas on epäsäännöllisen muotoinen, joten pohjan todellinen pinta-ala on vaikea määrittää. Näin ollen myös tilavuus on vaikea määrittää. Virheellinen imukaivon tilavuus aiheuttaa epäluotettavuutta astiamittaukseen. Tämä voi tarkoittaa myös sitä, että astiamittauksen ja nimellistuottoarvojen perusteella ei voida tietää, kumpi arvo on oikein. Näin ollen pumpputoimittajan ilmoittamat tuottoarvoistakaan ei voida sanoa, ovatko ne kukaan oikein. Mikäli vertailu oltaisiin tehty magneettimittaukseen, tulos olisi voinut olla eri.

7. HSY:n pumppaamoiden virtaamadataan analysointi

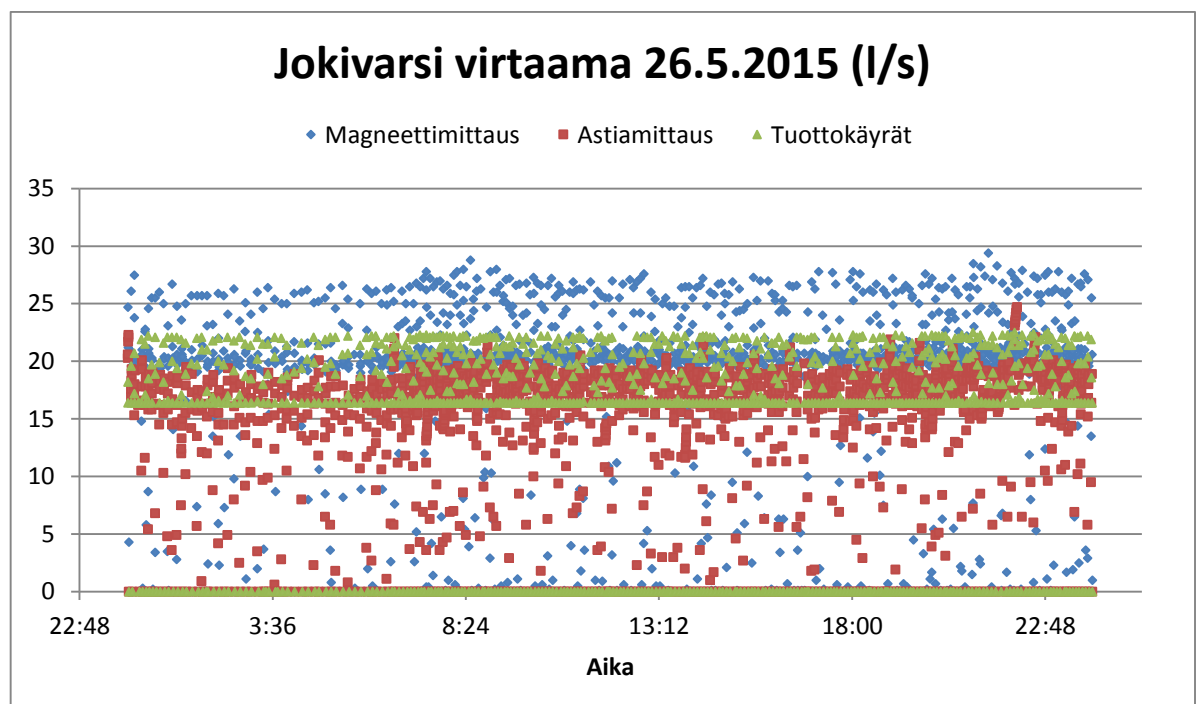
Virtaamadata on jätevedenpumppaamoilta kerättyä tietoa jäteveden määrästä, joka kulkee pumppaamon kautta tietyllä aikavälillä. Tässä kappaleessa analysoidaan HSY:lta hankittua pumppaamoiden virtaamadataa ja arvioidaan datojen oikeellisuutta, syitä mahdolliseen epäluotettavuuteen ja tiedonsiirron vaikutuksia virtaamadataan.

7.1. Virtaamadata yleisesti

Tässä kappaleessa esiteltävä virtaamadata on niin kutsuttua raakadataa, eli pumppaamolta saatua dataa ei ole muokattu mitenkään. Esimerkiksi HSY:n pumppaamodata perustuu seuraaviin virtaaman määrittystapoihin:

- magneettimittaus
- astiamittaus
- tuottokäyrät

Kaikilta HSY:n pumppaamoilta ei saada useilla rinnakkaisilla tavoilla määritettyä virtaamadataa. Nämä kolme rinnakkaismittausta ovat erikoistapaus. Kuvassa 31 on esimerkkikuvaaja virtaamadatasta, joka on saatu HSY:n Jokivarren pumppaamolta 26.5.2015, jossa on kaikki kolme mittaustapaa.



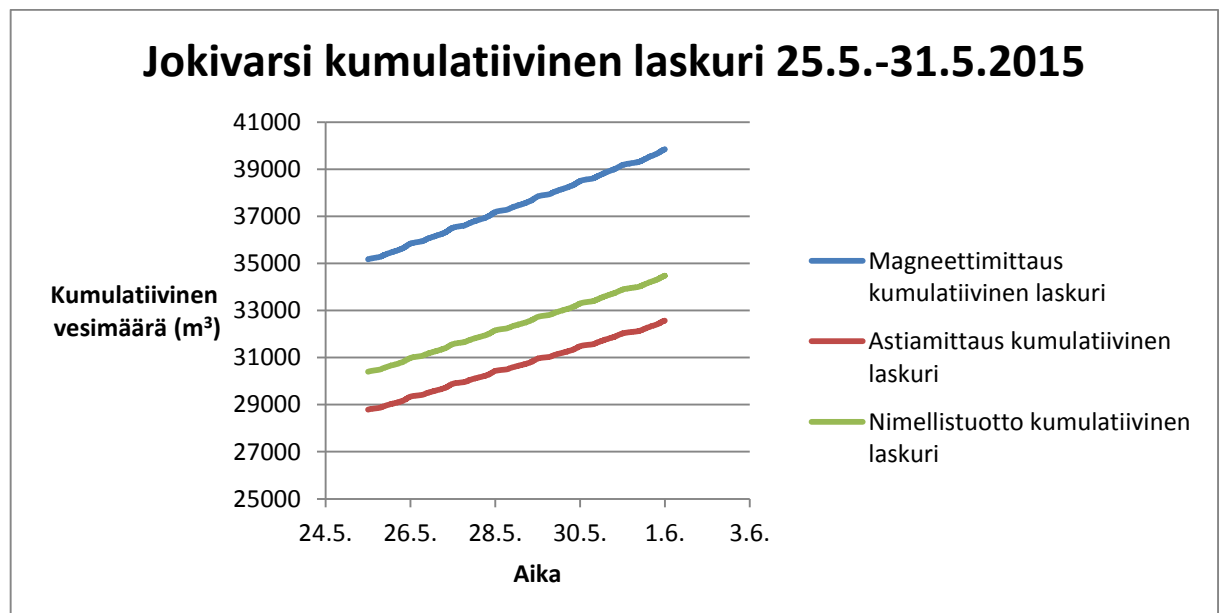
Kuva 31. HSY:n Jokivarren pumppaamon virtaamadata 26.5.2015.

Kuvasta 31 huomataan heti, että rinnakkaisten mittauksien tulokset ovat erilaisia. Tuloksista voidaan päätellä, että mittaustavat ovat toisistaan riippumattomia. Magneettimittauksen arvot saadaan suoraan magneettimittarilta, kun taas astiamittauksen ja tuottokäyrien tulokset saadaan pumppaamon logiikalta siihen määritettyjen laskentaparametrien perusteella. Astiamittaus käyttää eri parametreja kuin tuottokäyrät.

HSY voi hankkia virtaamadataa myös ultraäänimittauksella. Joissain HSY:n pumppaamoissa on käytössä kiinteä ultraäänimittaus. Yleensä ultraäänimittausta käytetään virtaamadatan laadun varmentamiseen pumppaamolla, joissa ei ole käytössä virtaamamittausta esimerkiksi magneettimittarilla.

Magneettimittauksen data on kerätty pumppaamolla olevasta magneettimittarista. Mittarista saadaan dataa tasaisin aikavälein, jonka jälkeen mittauksessa on tauko.

Kaukokäyttöjärjestelmä rekisteröi virtaamadataa myös kumulatiivisesti. Kumulatiivisessa laskurissa on koottu mittauksista saatujen vesimäärien summat. Mittausaikaväli on riippuvainen pumppaamosta. Se voi olla esim. 1-7 minuuttia. Kuvassa 32 on esitetty Jokivarren pumppaamon kumulatiiviset vesimäärät 25.5.2015 - 31.5.2015.



Kuva 32. Jokivarren pumppaamon kumulatiiviset vesimäärät 25.5.-31.5.2015

Kuvasta 32 nähdään, että mitatuissa vesimäärissä on valtava ero. Jos kuvaa 32 vertailee kuvaan 31, niin arvot ovat suoraan verrannollisia, sillä magneettimittauksen huippuvirtamat ovat korkeammat kuin astiamittauksen tai nimellistuoton. Nimel-

listuoton huippuvirtaamat ovat vähän korkeammat kuin astiamittauksen. Kuvaajasta 32 on suoraan mahdotonta sanoa, mikä näistä mittauksista on todenmukainen. Yleensä uskotaan, että magneettimittaus on luotettavin. Lisäksi kuvaajasta nähdään, että kumulatiivista vesimäärää on mitattu jo ennen 25.5.2015, koska datapistteet eivät ala luvusta nolla. Tämä tarkoittaa, että kumulatiivinen laskuri toimii pumppaamoilla jatkuvasti alkaen tietystä ajasta ja päättyen tiettyyn aikaan, jota kutsutaan nollausajankohdaksi (Jalonen 2012).

Virtaamadatan kerääminen pumppaamoilta ei ole rajoittamatonta. Järjestelmällä on aina rajoitettu kapasiteetti kerättävälle datalle. Kapasiteetin suuruus riippuu asennetun järjestelmän omista ominaisuuksista, kuten logiikoista, pumpuista, mittareista ja myös pumppaamon omasta koosta. Yleinen tallennuskapasiteetti on yhden viikon ajalta kerätty data (Jalonen 2012). Pumppaamon oma koko toimii yleisenä perusteena sille, kuinka suuren logiikan se tarvitsee. Isoilta pumppaamoilta halutaan yleensä mahdollisimman paljon luotettavaa virtaamadataa, koska näissä pumppaamoissa puhutaan jo varsin suurista virtaamista. Suuremmat virtaamadatat tarvitsevat myös suuremman logiikan ja tiheämpiä tallennusvälejä. Kun logiikalle saatu data ylittää järjestelmän kapasiteetin, logiikka tekee saamissaan rajoissa kompromissin, joka voi aiheuttaa hetkellisesti virtaamadataan virhearvoja. Kompromissi tarkoittaa jätevedenpumppaamon tapauksessa virheellistä laskentaa, jota ei voi estää. Kompromissit kestävät yleensä vain muutaman sekunnin, mutta jos se kestää poikkeuksellisen kauan, yleensä se tarkoittaa ongelmaa järjestelmässä. Kyseessä voi olla myös ylivuoto. Mahdollinen kapasiteetin ylittyminen voi aiheuttaa sen, että pumppaamon pumput toimivat jatkuvasti, jolloin logiikka tekee sallituissa rajoissaan kompromissin. Sama tilanne voi aiheutua myös pumppujen rikkoutumisesta. Kompromissi ilmenee virtaamadatassa virheellisenä datan arvona. (Stenberg, J. 2015)

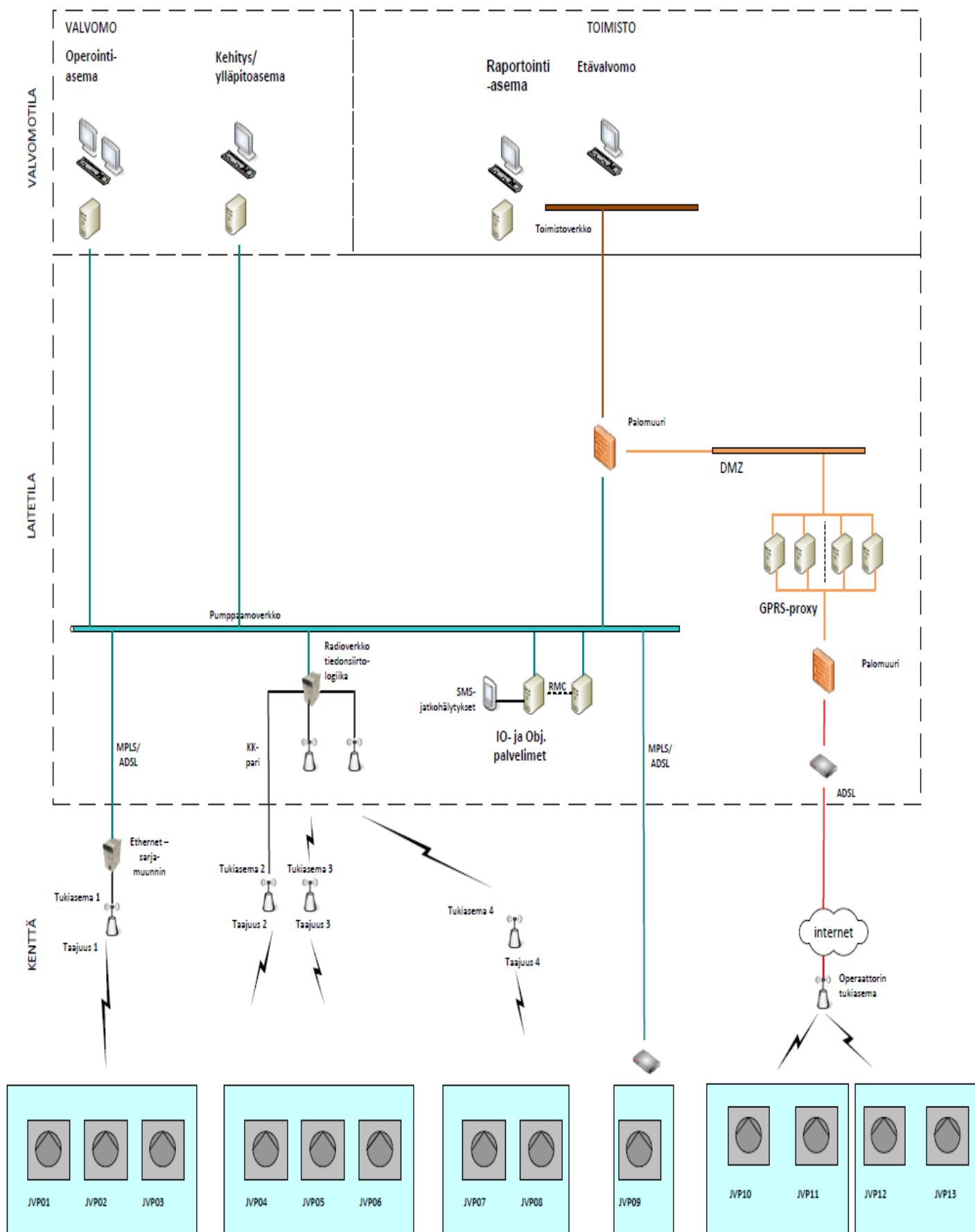
7.2. Analysoitavien pumppaamoiden tiedonsiirto

Kerätyn datan tallennusväli vaihtelee eri pumppaamoilla. Tämä riippuu pumppaamoilla käytetyistä tiedonsiirtomenetelmistä. Piispankyläntien pumppaamolla tiedonsiirto tapahtuu radiomodeemin välityksellä. Lyhyimmillään tallennusväli on noin 5 sekuntia, pisimmillään noin 40 sekuntia.

Joiltakin HSY:n pumppaamoilta dataa ei saada lainkaan, koska niillä on esimerkiksi pieni ja vanha tiedonsiirtologiikka, johon ei mahdu paljoa ohjelmaa eikä siten laskentaa. Tällaisissa pumppaamoissa kaukokäyttöjärjestelmässä on logiikka vain hälytyksille.

Pumppaamon logiikka laskee virtaamadatan paikallisesti ala-asemalla, jonka jälkeen tieto siirtyy valvomoon. Logiikan toimintaperiaate on aina tällainen riippumatta tiedonsiirtomenetelmästä. Langattomissa tiedonsiirtomenetelmissä yhteyskatko on aina mahdollinen. Katkon pituus voi kestää muutamasta sekunnista useisiin tunteihin. Yhteysskatkon aikana pumppaamon toiminnan tarkastelu estyy, mutta kumulatiiviset arvot, kuten vesimäärä ja pumppujen käyntiaika lasketaan logiikalla katkosta huolimatta. Yhteyden palaututtua laskurin uusi arvo lähetetään pumppaamotietokantaan. (Saarinen P. & Lukkarinen T. 2015)

Kuvassa 33 on esitetty yleiskuva tiedonsiirtoverkoista pumppaamoiden ja valvomon välillä.



Kuva 33. Tiedonsiirtoverkot jätevedenpumppaamoiden ja valvomon välillä. (Lukkarinen, 2015)

Kuvan 33 vasemmanpuoleinen sininen verkko on laitoksen sisäinen radiomodeemiin ja ADSL-yhteyteen perustuva verkko. Oikeanpuoleinen oranssi verkko on GPRS-verkko. GPRS-verkko liitetään sisäiseen verkkoon sitten, kun se on kulkenut tukiasemasta Internetin läpi ADSL-modeemista GPRS-proxyyn. Proxy on varustettu palomuurilla estämään vahingollisen tiedon pääsy. Proxysta tieto siirtyy DMZ-verkon, eli demilitarisoidun verkon läpi laitoksen sisäiseen verkkoon, jossa tieto kulkee vielä yhden palomuurin läpi. Demilitarisoitu verkko on aliverkko, jonka tarkoituksena on antaa avoimelle, riskialttiille verkolle parempi tietoturva.

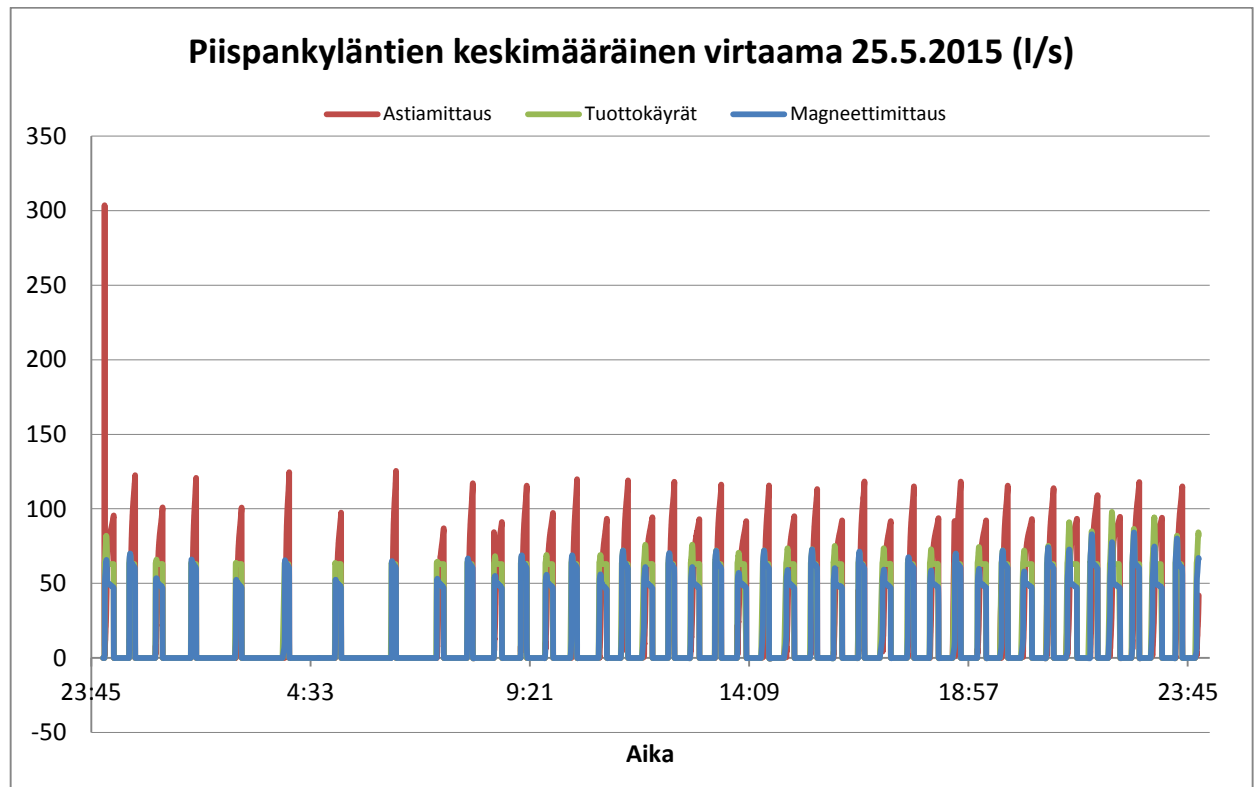
Sisäinen radiomodeemiin perustuva verkko kerää tiedot langattomasti pumppaamoilta tukiasemiin, josta ne lähetetään ADSL-yhteydellä pumppaamoverkkoon. Pumppaamoverkosta tieto siirtyy valvomoon ja edelleen laitoksen toimistoon. Näitä radiomodeemiin perustuvia tiedonsiirtotapoja voi olla useita laitoksesta riippuen. Ethernet-sarjamuuntimella varustettu tapa on tällä hetkellä luotettavin ja nopein tapa. Tämä tapa on kuitenkin vielä aika uusi, eikä se ole laajalti käytössä (Saarinen P. & Lukkarinen T. 2015). Radioverkon tiedonsiirtologiikan tavassa on useita tukiasemia, joista jokainen toimii eri taajuudella. Langattomat yhteydet pumppaamon ja tukiaseman välillä voivat olla varsin pitkiä, jolloin tiedonsiirron aika pitenee. Radioverkon tiedonsiirtologiikka on yleisin käytössä oleva radiomodeemiin perustuva tiedonsiirtomenetelmä, mutta ottaen huomioon, että sillä on monta eri tukiasemaa, sen luotettavuus voi kärsiä herkemmin tiedonsiirtokatkoista. Esimerkiksi Jokivarren ja Piispankyläntien pumppaamojen tiedonsiirto tapahtuu radiomodeemin välityksellä.

Uusin tapa, jolla pumppaamo on liitetty sisäiseen verkkoon, on pumppaamon suora ADSL-yhteys, joka on langallinen. Tässä menetelmässä on pienin riski tiedonsiirtokatkoihin, koska tieto kulkee vain yhden tukiaseman tai reitittimen läpi. Lisäksi täysin langallisen verkon toimintavarmuus on luotettavampi, koska langallisen verkon toimintaan harvoin vaikuttavat ulkoiset tekijät. Ulkoisista tekijöistä langattomaan yhteyteen voivat vaikuttaa esimerkiksi maaston muodot ja sääolosuhteet.

7.3. Virtaamadatajen trendi

Usein pumppaamolta saadut virtaamadatat noudattavat tiettyä trendiä. Datan laatu riippuu enimmäkseen pumppaamon omista tekijöistä. Esimerkiksi HSY:n Piispan-

kyläntien pumppaamolta saatu virtaamadata noudattaa pitkälti samaa trendiä. Kuvassa 34 on kuvattu Piispankyläntien pumppaamon pumppaamodatan trendi ajalta 25.5.2015.



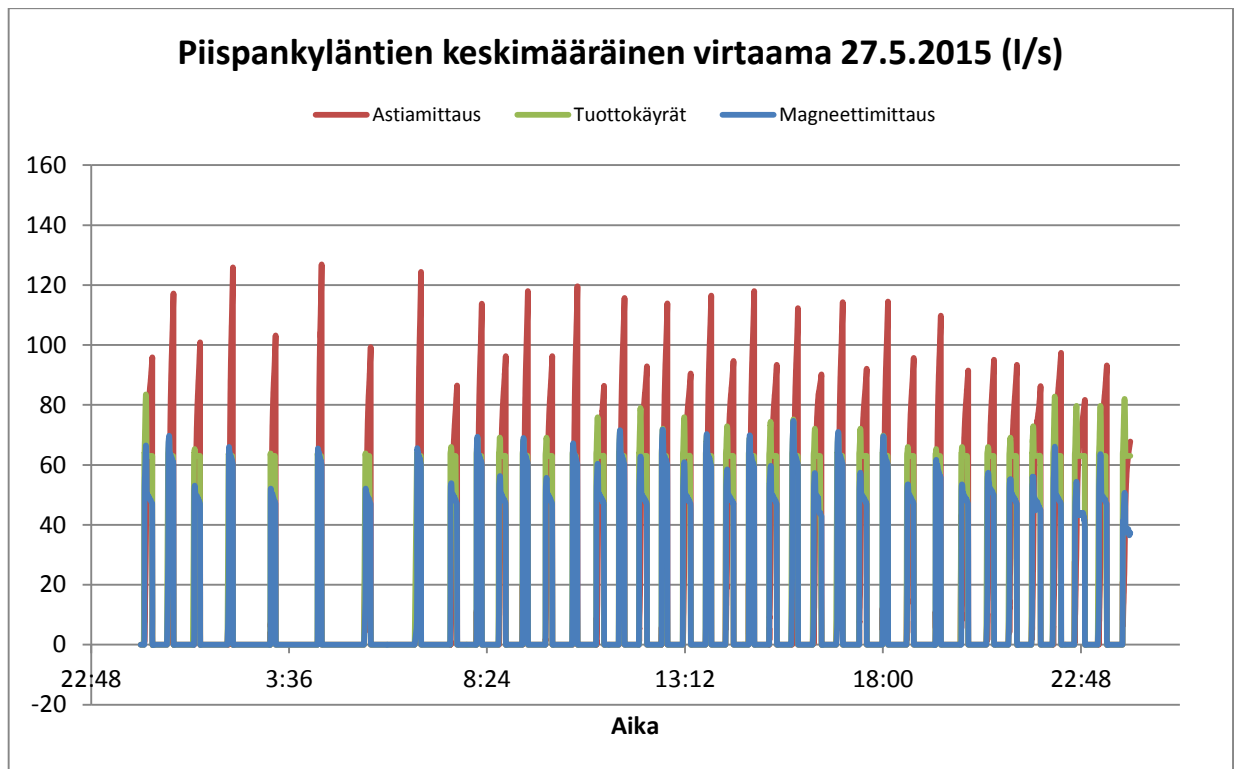
Kuva 34. Vantaan Piispankyläntien pumppaamon virtaaman trendi 25.5.2015.

Kuvassa 34 on kuvattu Piispankyläntien pumppaamon kolmen eri virtaamamittauksen koottu virtaama. Kuvaajasta huomataan, että magneettimittauksen ja tuottokäyrien välinen virtaaman ero ei ole kovin suuri, joskin niissä on systemaattinen ero. Itse asiassa näiden kahden mittaustavan välinen arvo on joka toisella pumppujen käynnistyskerralla lähes sama. Kun magneettimittausta ja tuottokäyrien virtaaman arvoa vertaa astiamittauksesta saatuun virtaaman arvoon, voidaan todeta, että tulokset eivät ole vertailukelpoisia. Astiamittauksen kohdalla virtaaman arvo on lähes kaksinkertainen verrattuna magneettimittaukseen ja tuottokäyriin. Lisäksi astiamittaukseen perustuvat arvot sisältävät varsin paljonpiikkiarvoja. Kuten kuvaajasta huomataan, suurin mitattu astiamittauksen arvo kyseisenä päivänä on vähän yli 300 l/s, kun muuten sen arvo on suurimmillaan noin 125 l/s. Tämän piikkiarvon kohdalla on todennäköisesti sattunut lyhytaikainen tekninen häiriö, esimerkiksi tiedonsiirrossa tapahtunut yhteyskatko, joka on siten antanut virheellisen virtaaman arvon. Yleisin tekninen häiriö pumppaamolla on esimerkiksi tiedonsiirrossa tapahtunut yhteyskatko. Jokaisen mittauksen data siirretään sa-

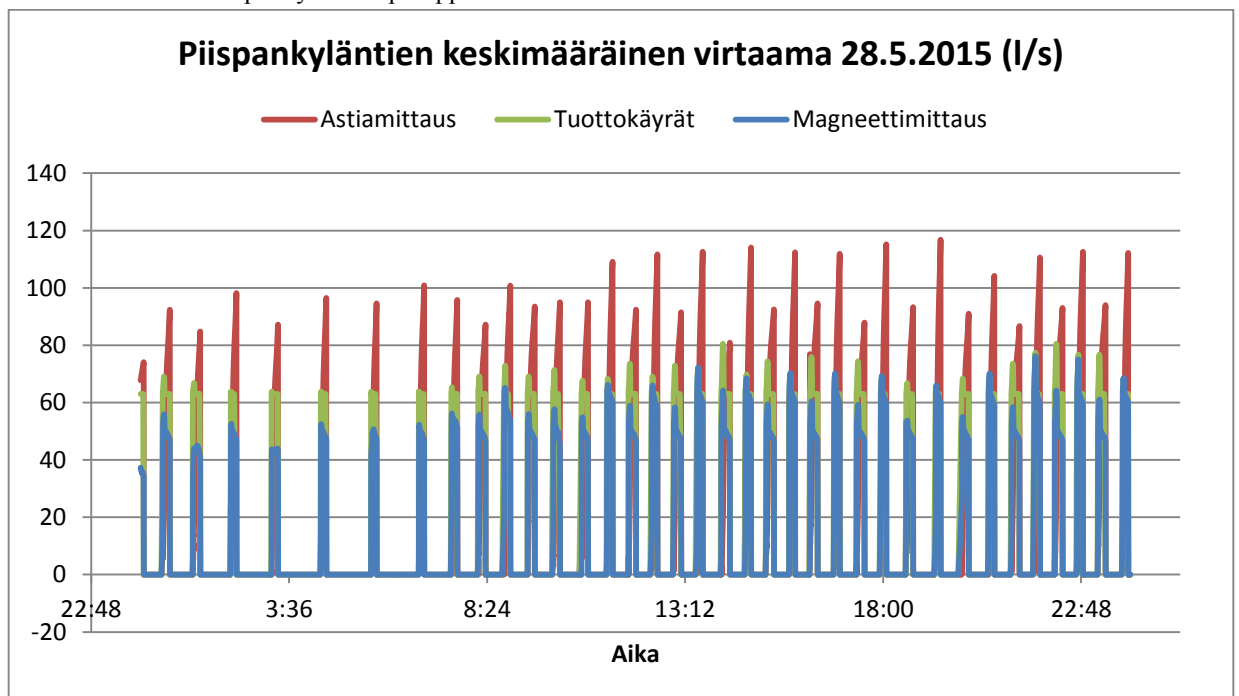
mallalla tiedonsiirtomenetelmällä. Astiamittauksen kumulatiivinen arvo voi tällöin olla hyvinkin korkea. Näin lyhyt katko ei ole vaikuttanut magneettimittaukseen tai tuottokäyriin juuri lainkaan, mutta pidemmän katkon sattuessa myös näiden mitausten arvo voi saada piikin. Lisäksi magneettimittari ei aloita mittaamista heti pumppujen käynnistyttyä, vaan pumpatun veden on ensin saavutettava itse mittari. Tämä voi olla yksi syy, miksi astiamittauksen saama piikkiarvo mahdollisesta tiedonsiirtokatkosta ei ole vaikuttanut magneettimittaukseen.

Syitä astiamittauksen suuriin eroihin muihin mittaustapoihin verrattuna voi olla monia. Pumppaamolla astiamittaus lasketaan kaavan 5 mukaan. Kaavan avulla lasketaan pumppaamolta lähtevä virtaama imualtaan tilavuuksien avulla pumppujen käynnistyessä ja pysähtyessä. Koska imuallas on säiliö, tilavuus riippuu säiliön pohjan pinta-alasta ja vedenpinnan korkeudesta. Piispankyläntien pumppaamon pohjan pinta-ala on asetettu HSY:n mukaan arvoon 49 m^2 , mutta tämä arvo ei ole todenmukainen. Näin ollen pumppaamon imualtaan oikeaa tilavuutta ei tunneta. Tämä voi olla yksi syy astiamittauksen epäluotettavuuteen Piispankyläntien pumppaamolla.

Piispankyläntien virtaamadatan trendi ei muutu aikavälillä 25.5.2015 - 31.5.2015 paljoa. Ainoastaan 27.5. - 28.5.2015 voidaan huomata selvempää eroa muiden päivien trendiin. Kuvissa 35 ja 36 on esitetty virtaamat edellä mainittuina päivinä.



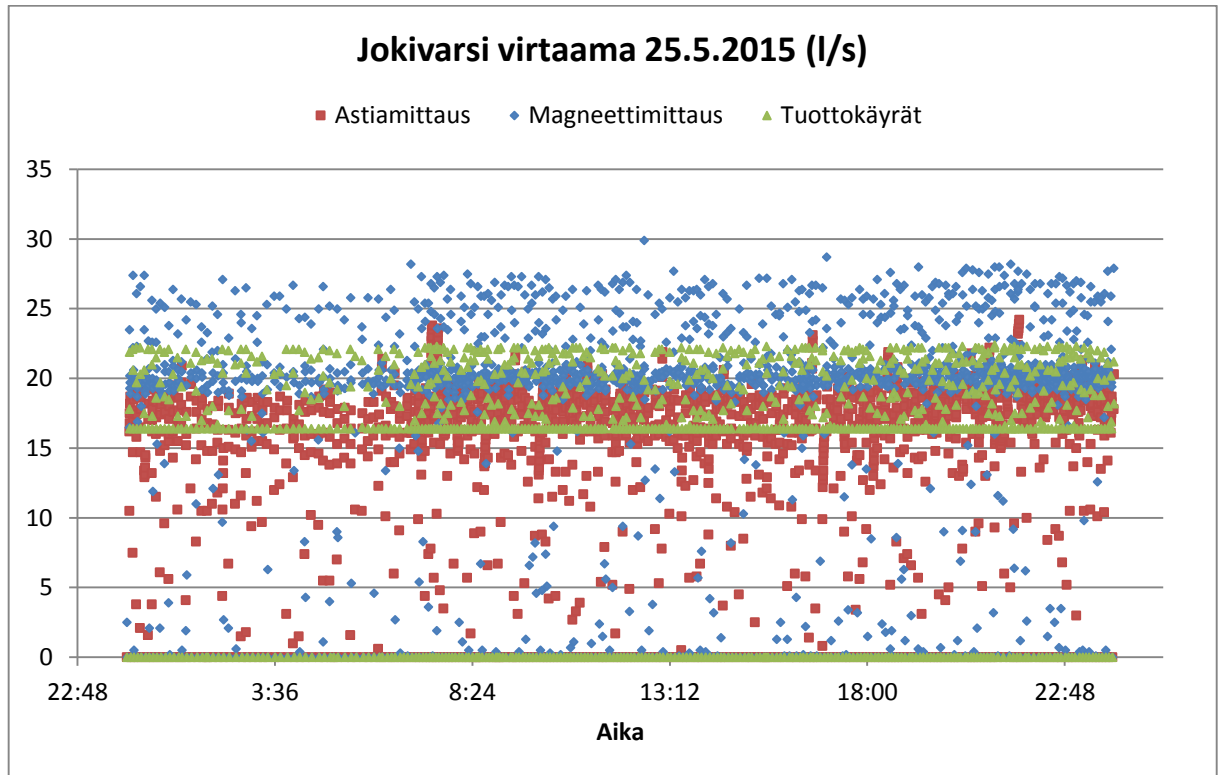
Kuva 35. Vantaan Piispankyläntien pumppaamon lähtevän virtaaman trendi 27.5.2015.



Kuva 36. Vantaan Piispankyläntien pumppaamon virtaaman trendi 28.5.2015.

Kuvaajien 35 ja 36 perusteella voidaan huomata, että tuottokäyrien ja magneettimittauksen välillä on 27.5. alkuillasta aina 28.5. iltapäivään asti tapahtunut jokaisella pumppujen käynnistyskerralla niin, että virtaamien arvot ovat poikkeavat toisistaan selvemmin kuin muina ajankohtina. Syy ei ole täysin selvä, mutta kyseessä voi olla esimerkiksi pumppujen käyntitajuuden muutos, jolloin toimintapiste on muuttunut.

Vertailun vuoksi tarkastellaan lisäksi myös Vantaan Jokivarren pumppaamon virtaamadataa. Kuvassa 37 on esitetty Jokivarren pumppaamon virtaamat 25.5.2015.



Kuva 37. Jokivarren pumppaamon virtaama 25.5.2015.

Kuvaajan 37 perusteella voidaan todeta, että Jokivarren pumppaamo ei käsittele yhtä suuria virtaamia kuin Piispankyläntien pumppaamo. Jokivarren yhden päivän trendin perusteella voidaan todeta, että magneettimittaus antaa selvästi korkeampia huippuvirtaaman arvoja kuin astiamittaus tai tuottokäyrät. Jos oletetaan, että magneettimittaus on pumppaamon luotettavin virtaamamittaus, niin voidaan päätellä, että Jokivarren pumpppujen nimellistuotto on oikeasti suurempi kuin pumpun omien tietojen perusteella järjestelmään asetettu nimellistuottoarvo. Astiamittauksen arvo on suhteellisen luotettava, mutta ei silti yhtä tarkka kuin magneettimittauksen. Tämä voi johtua siitä, että vaikka Jokivarren pumppaamon imukaivo on säännöllisen lieriön muotoinen, pumppaamossa voi tapahtua tuloputken padotusta, joka lisää "säiliön" tilavuutta. Tätä tilavuuden lisäystä on vaikea huomioida astiamittauksen parametriarvoja asettaessa. Muutamaan otteeseen astiamittauksen arvo on normaalia trendiä selvästi korkeampi. Näinä ajankohtina pumppaamoon on todennäköisesti virrannut enemmän vettä kuin normaalisti. Astiamittauksessa tämä lisävirtaama näkyy, koska astiamittauksen laskenta ottaa huomioon pumppaamoon

virtaavan veden pumppauksen aikana ja lisää sen virtaaman laskentaan. Magneettimittaus ja nimellistuotto eivät ole riippuvaisia tästä ominaisuudesta. Kuvan 32 trendi on samankaltainen kuin kuvan 38. Trendi pysyy samana muinakin päivinä.

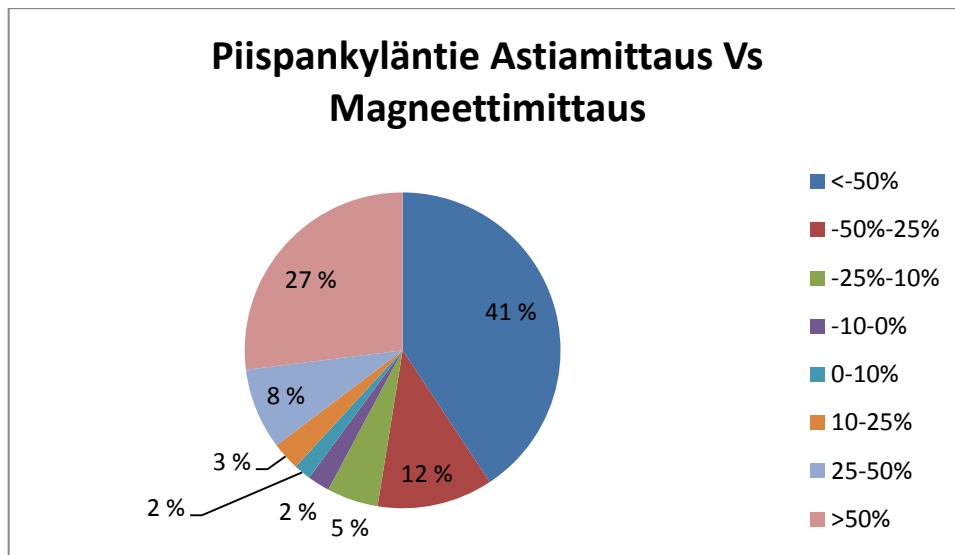
7.4. Virtaamadatan analysointi

Tässä kappaleessa on tutkitaan data-analyysin avulla Piispankyläntien ja Jokivarren pumppaamoiden mittaustapojen prosentuaalisia eroja.

7.4.1. Piispankyläntie

Kappaleen 7.3. kuvaajien perusteella nähtiin, että Piispankyläntien pumppaamon astiamittauksen virtaama-arvot eroavat selvästi magneettimittaukseen ja nimellistuottoon verrattuna. Tarkemmalla data-analyysillä voidaan selvittää prosentuaalisesti, kuinka paljon ja missä suhteessa astiamittauksen ja nimellistuoton arvot eroavat magneettimittauksen arvoista. Vertailu on tehty magneettimittaukseen sillä oletuksella, että magneettimittaus on pumppaamon mittausmenetelmistä tarkin ja luotettavin.

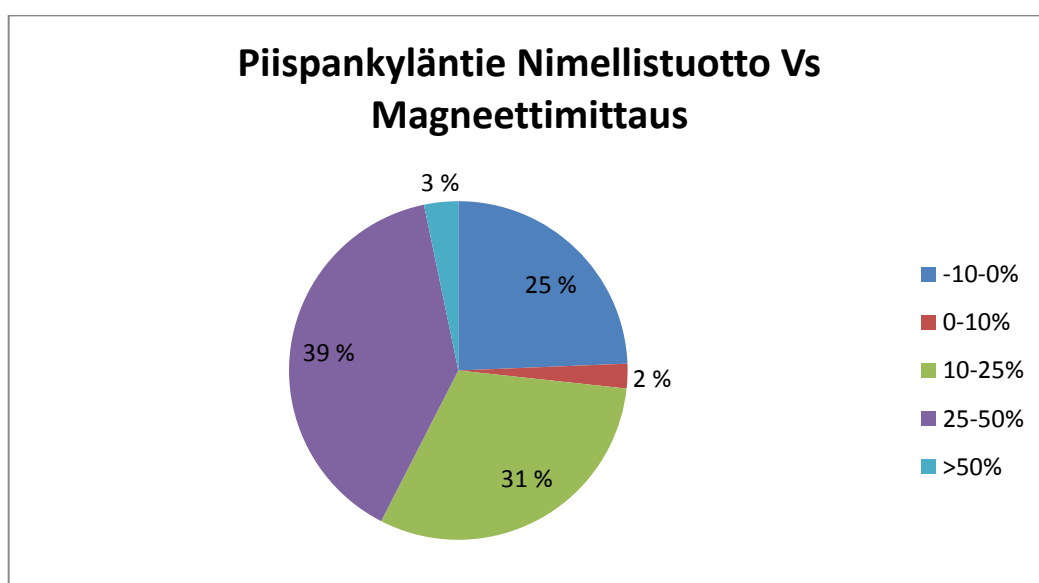
Analyysi on tehty Piispankyläntien pumppaamon virtaamadatasta ajanjaksolta 25.5.2015-27.5.2015. Analyysissä on huomioitu vain virtaaman arvot, jotka on tallennettu jokaisesta mittausmenetelmästä samaan aikaan. Jokaisella mittausmenetelmällä on eri tallennusvälit. Esimerkiksi Piispankyläntien astiamittauksen virtaaman arvoja on tallennettu huomattavasti useammin kuin magneettimittauksen tai nimellistuoton. Kuvassa 38 on lohkokaaavion avulla verrattu astiamittauksesta saatujen virtaama-arvojen prosentuaalista eroa magneettimittauksen virtaama-arvoihin. Kaaviosta nähdään, kuinka paljon ja miten usein astiamittauksen arvot eroavat verratusta magneettimittauksen arvosta.



Kuva 38. Piispankyläntien pumppaamon astiamittauksen prosentuaaliset erot magneettimittaukseen verrattuna.

Kuvaajasta nähdään, että noin 41 % kaikista astiamittauksen arvoista on yli 50 % pienempiä kuin magneettimittauksen arvot. Lisäksi 55 % kaikista astiamittauksen arvoista ovat $\pm 10-50$ %:n eroalueella magneettimittauksen arvoihin verrattuna. Jotta astiamittaukseen voitaisiin luottaa samalla tavalla kuin magneettimittaukseen, erojen tulisi olla ± 10 %:n sisällä toisistaan. Vain noin 4 % kaikista mitatuista arvoista pääsee tälle raja-alueelle. Kuvaajan perusteella voidaan todeta, että astiamittauksen arvot eivät ole kunnolla vertailukelpoisia magneettimittauksen arvoihin.

Kuvassa 39 on tehty samanlainen lohkokaavio nimellistuotosta saatujen virtaamien eroista magneettimittauksen arvojen perusteella.



Kuva 39. Piispankyläntien pumppaamon nimellistuoton prosentuaaliset erot magneettimittaukseen verrattuna.

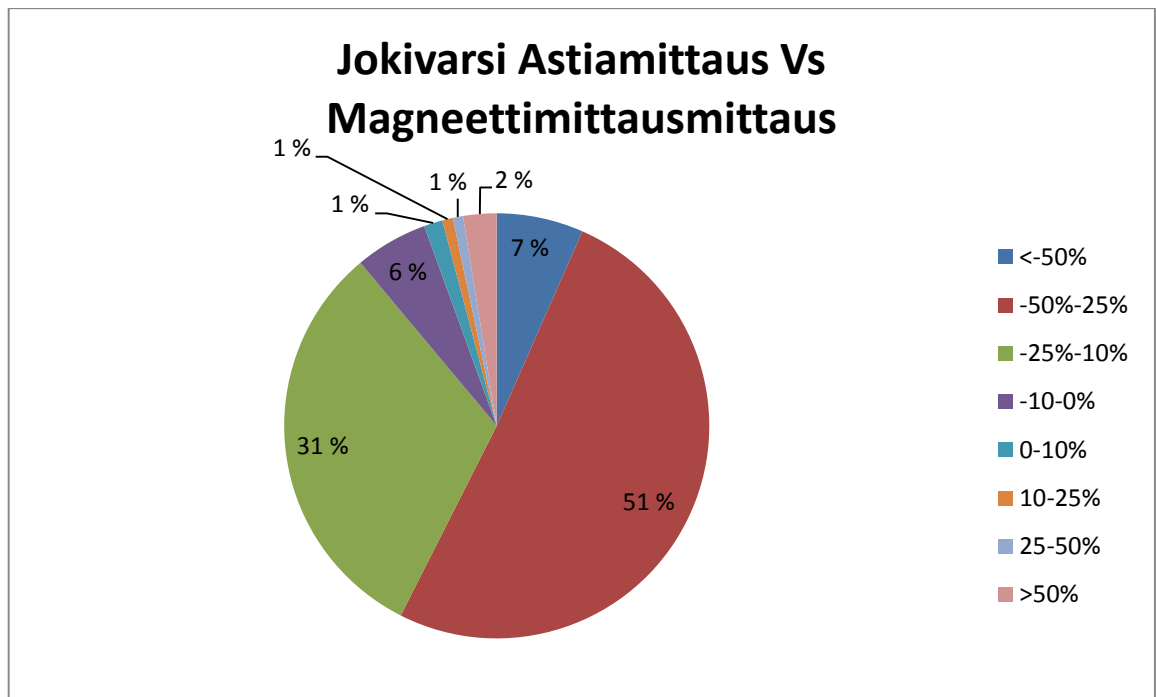
Kuvaajasta nähdään heti, että noin 73 % kaikista nimellistuoton virtaama-arvoista on noin 10 % suurempia kuin magneettimittauksen arvot. Loput 27 % nimellistuoton virtaama-arvoista on alle 10 %:n sisällä pienempiä tai suurempia kuin magneettimittauksen arvot. Näin ollen voidaan todeta, että nimellistuotosta saadut virtaamat ovat Piispankyläntien pumppaamolla paremmin vertailukelpoisia magneettimittaukseen kuin astiamittauksen arvot. Isoja eroja on silti jonkin verran nähtävissä. Kuvien 38 ja 39 avulla voidaan myös todeta, että Piispankyläntien virtaamien mittaustavat ovat toisistaan riippumattomia. Jos astiamittauksen tai nimellistuoton virtaama-arvot olisivat riippuvaisia magneettimittauksen arvoista, mittauksien väliset erot olisivat todennäköisesti pienempiä.

Johtopäätöksenä Piispankyläntien pumppaamon datasta voidaan sanoa, että astiamittauksen datan luotettavuus on heikko. Nimellistuoton luotettavuus on keskinertainen. Pumppujen todelliset nimellistuottoarvot eivät välttämättä täsmää pumpputoimittajan ilmoittamien arvojen kanssa.

Analyysissa on vertailtu eri mittaustapojen välisiä eroja samoilta tallennusajankohdilta. Tulosten perusteella nähdään, että mittausten välinen ero samaan aikaan voi olla hyvinkin suuri. Tämä voi osaltaan johtua laskentaviiveistä, joita mittauksissa esiintyy. Magneettimittauksessa laskentaviiveitä ei esiinny.

7.4.2. Jokivarsi

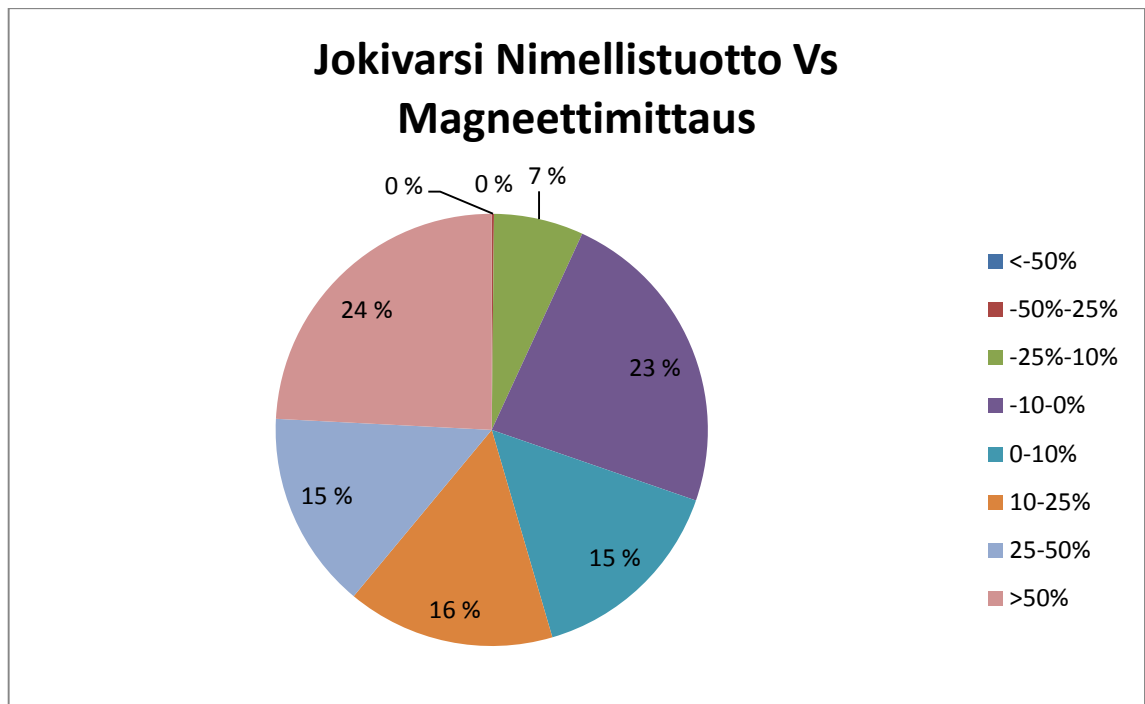
Jokivarren pumppaamon analyysi on tehty ajanjaksolta 25.5.2015-31.5.2015. Verrattaessa Jokivarren astiamittauksen datan prosentuaalisia eroja magneettimittaukseen data-analyysi antoi kuvan 40 mukaisen kuvaajan.



Kuva 40. Jokivarren pumppaamon astiamittauksen prosentuaaliset erot magneettimittaukseen verrattuna.

Kuvaajasta näkee, että vain pieni osa, noin 7 % kaikista astiamittauksen arvoista, on vain 10 %:n eroalueella magneettimittaukseen verrattuna. Muuten astiamittauksen arvot ovat lähes kokonaan 10-50 % pienempiä kuin magneettimittauksen arvot. Tästä voidaan päätellä, että magneettimittauksen arvot ovat Jokivarren pumppaamolla usein korkeammat kuin astiamittauksen arvot.

Nimellistuoton arvojen vertailu magneettimittaukseen antoi kuvan 41 mukaisen kuvaajan.



Kuva 41. Jokivarren pumppaamon nimellistuoton prosentuaaliset erot magneettimittaukseen verrattuna.

Jokivarren pumppaamon nimellistuottojen erot magneettimittaukseen eivät ole yhtä suuret kuin astiamittauksen. 38 % mitatuista nimellistuoton arvoista on 10 %:n eroalueella verrattaessa magneettimittaukseen. Magneettimittauksen arvoista 55 % ovat yli 10 % suurempia kuin nimellistuoton arvot.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että astiamittauksen ja nimellistuoton arvojen todenmukaisuutta on vaikea varmentaa. Tuloksista on ei myöskään voida tehdä suoraa johtopäätöstä siitä, ovatko magneettimittauksenkaan arvot oikeat.

8. Virtaamadatan luotettavuus ja sen parantaminen

Virtaamadatan tulee olla mahdollisimman luotettavaa, jotta sitä voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti vesihuoltolaitoksen toiminnassa. Tämän vuoksi mahdollista virheellistä virtaamatietoa tulisi parantaa.

8.1. Mittauksen virhelähteet

Astiamittaus on pumppaamoilla eniten käytetyin virtaaman mittaustapa. Tämä laskentatapa asennetaan pumppaamon logiikkaan käsin, ja järjestelmä laskee virtaaman siihen syötettyjen parametrien perusteella. Jotta astiamittauksen arvo olisi mahdollisimman tarkka, syötettyjen parametriarvojen tulee olla mahdollisimman todenmukaiset. Jos nämä parametrit pidä paikkaansa, saatu virtaamadata astiamittauksesta ei ole luotettavaa. (Stenberg J. 2015)

Astiamittaus on tarkka mittaustapa silloin, kun lähtevän virtaaman mittaamiseen käytetty aika on lyhyt verrattuna aikaan, jolloin on mitattu tulevan virtaaman määrä (Antikainen J. 2015). Tulevaa virtaamaa ei kuitenkaan usein mitata pumppaamoilla. Riittää että tietää, kuinka kauan pumppaamon imualtaan pintatason nousussa pysäytysrajalta käynnistysrajalle kestää. Jos tämä aika on verrattain pitempi kuin pumppaukseen käytetty aika, niin silloin astiamittaus on tarkka, mikäli logiikkaan asetetut parametriarvot ovat kohdallaan.

Vanhoilla, suurilla pumppaamoilla virtaamadatan laadun parantaminen on haastavaa ilman suuria investointeja. Pääasiallinen tapa parantaa vanhan pumppaamon virtaamadataa on pumppaamon täysi saneeraus asentamalla uusi logiikka ja magneettimittari. Saneeraus on iso investointi ja se vaatii myös paljon aikaa. Joihinkin pumppaamoihin magneettimittarin voisi asentaa ilman täyttä saneerausta rakentamalla pumppaamoon erillisen mittarikaivon, joka on yhteydessä pumppaamon paineputkeen. Tämä tapa voi olla edullisempi kuin täysi saneeraus, mutta uuden kaivon rakentaminen vanhan pumppaamon yhteyteen vaatii suunnittelua. Yksi tapa parantaa pumppaamon virtaamadatan laatua on kartoittaa mahdollisuus ultraäänimittarin asentamiseen. Ultraäänimittari on yleisesti käytetyissä virtaamamittareista edullisin ja helppo asentaa. Ultraäänimittarin toimivuus on kuitenkin riippuvainen pumppaamon paineputkistosta, koska se tarvitsee mahdollisimman paljon suoraa osuutta toimiakseen tarkasti.

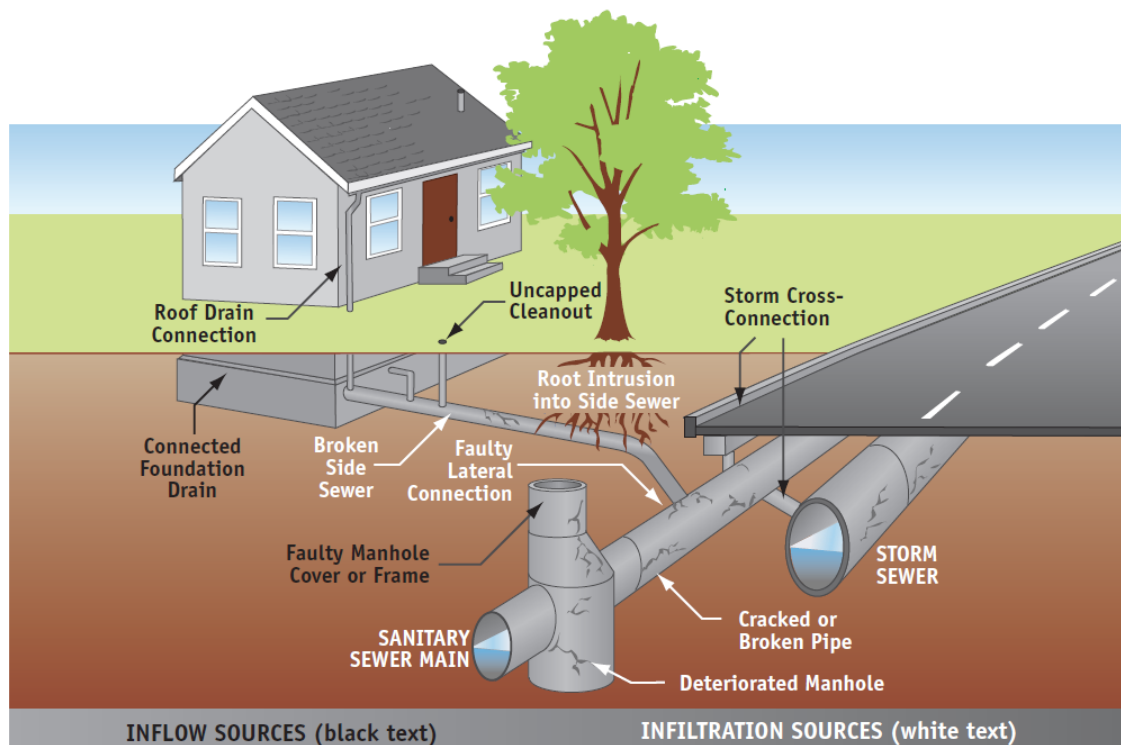
8.2. Vuotovesien vaikutus virtaamadataan

Vuotovedet ovat yksi tärkeimmistä syistä, miksi pumppaamoiden ja jätevesiverkon virtaamatiedoista ollaan kiinnostuneita. Jätevesiverkoston ideaalisin tilanne on verkoston tiiviys. Tällä pyritään varmistamaan, että jätevesiverkossa virtaa pääsääntöisesti käytettyä vesijohtovettä. Vuotovesien määrä tulee minimoida verkoston suunnittelussa ja saneerauksessa. Viemäriverkoston vuotovesillä tarkoitetaan pinta- tai pohjavettä, joka pääsee tunkeutumaan jätevesiviemäriin kaivojen raoista, putkien halkeamista, liitoskohdista ja verkoston viallisista kohdista. Vuotovedet voidaan jakaa kahteen luokkaan (Väyrynen 2015):

- varsinainen vuotovesi
 - pohja- tai vajovesistä putkistoon imeytyvää vettä. Linja voi olla pysyvästi tai tilapäisesti pohjavedenpinnan alapuolella, jolloin vesi pääsee putkiston ja kaivojen aukkojen kautta viemäriverkkoon
- hulevesi
 - pintavalunnasta syntynyttä vuotovettä, joka kulkeutuu viemäriverkkoon kaivojen kansien ja kaivojen yläosien kautta, putkien saumoista ja ylivuodoista.

Hulevedet ovat sadannasta tai lumen sulamisesta aiheutuvia vuotovesiä

Kuvassa 42 on esitetty hulevesien ja varsinaisten vuotovesien päätyminen viemäriverkkoon.



Kuva 42. Hulevuotovesien (Inflow Sources) ja varsinaisten vuotovesien (Infiltration sources) päätyminen jätevesiviemäriin (King County, 2015)

Vuoto- ja hulevesiä voi päätyä verkostoon suuriakin määriä. Ylivuototilanteessa jäteveden osuus pumpppaamalla voi olla jopa vain 5 % koko vesimäärästä. Suuret vuotovesimäärät jätevedenpuhdistamolla häiritsevät puhdistamon toimintaa merkittävästi (Antikainen J. 2015). Lisäksi ylivuodot sekaviemäreissä ovat hygieniariski. Vanhoja sekaviemäreitä pyritään Suomessa saneeraamaan erillisviemäreiksi etenkin kaupungeissa (Väyrynen 2015).

Vuotovesien vaikutus eri mittaustapoihin riippuu mittaustavasta. Vuotovedet eivät vaikuta esimerkiksi magneettimittauksesta saadun datan luotettavuuteen juuri ollenkaan. Magneettimittari mittaa virtaamaa aina kun vettä kulkee mittarin läpi riippumatta siitä, onko vesi pelkkää jätevettä vai onko siihen sekoittunut mukaan vuotovesiä. Vuotovedet voivat alentaa jäteveden sähkönjohtavuutta, mutta on epätodennäköistä, että ne alentaisivat siitä niin paljon, että magneettimittari ei kykenisi mittaamaan virtaamaa. Nimellistuotto perustuu pumpppujen omaan tuottoon ja pumpput käynnistyvät silloin, kun käynnistysraja saavutetaan. Vuotovedet voivat nopeuttaa käynnistysrajan saavuttamista, mutta tämä ei vaikuta pumpppujen omaan tuottoon. Pumpput pumpppaavat sen, mitä ne rajoissaan pystyvät ja logiikka huomioi niiden nimellistuoton. Näin ollen vuotovedet eivät suoraan vaikuta nimellistuotosta saatuun virtaamadataan, mikäli logiikkaan asennetut nimellistuottoarvot on määri-

tetty oikein. Taajuusmuuntajakäyttöisten pumppujen kohdalla nimellistuottoarvolaskenta voi muuttua, jos vuotovedet aiheuttavat pumppujen käyntitaajuuden noston suuremmaksi. Tämäkin tilanne on riippuvainen siitä, onko pumppujen nimellistuottoarvot määritetty logiikkaan oikein.

Vuotovedet vaikuttavat eniten astiamittauksen luotettavuuteen. Koska astiamittaus perustuu imukaivon tilavuusarvoon, äkillinen virtaaman kasvu vuotovesien takia voi aiheuttaa virheellistä laskentaa astiamittauksessa. Jos veden pinta nousee vuotovesien takia yli imukaivon tuloputken, olettaen ettei tuloputki normaalitilanteessa padota, niin astiamittaus laskee kokonaisvesimäärän virheellisesti (Saarinen 4.11.2015). Parametriarvojen säätäminen voi parantaa virtaamadataa vuotovesitilanteessa, mutta tästä aiheutuu riski siitä, että normaalitilanteista alkaa syntyä virheellistä virtaamadataa, jos arvoja ei palauteta alkuperäisiin arvoihin.

9. Yhteenveto

Viemärivertaamia mitataan, jotta viemärlaitoksella olisi mahdollisimman hyvä käsitys siitä, kuinka viemäriverkosto toimii. Virtaamatietoja voidaan myös käyttää tukena verkoston suunnittelussa. Virtaamia voidaan mitata erillisillä virtaamamittareilla, esimerkiksi viemärikaivoista tai jätevedenpumppaamoilta, joita on valmiiksi eri puolilla verkkoa. Viemäriputkistoissa virtaaman mittaaminen on vaikeaa tehdä tarkasti. Laadukkaan virtaamatiedon avulla on kuitenkin mahdollista arvioida viemärien kapasiteettia ja verkoston toimintaa.

Virtaamatietojen laatuun vaikuttavat virtausolosuhteet, käytettävä mittaustapa, automaatiojärjestelmän logiikan toimivuus, virtaamamittareiden asennuspaikka ja asennuksen oikeellisuus ja tiedonsiirto.

Virtauksen laatu voi vaikuttaa hydraulisilta ominaisuuksilta virtaamadataan luotavuuteen. Virtaamat jaetaan laminaarisiin ja turbulenttisiin virtauksiin ja siirtymävirtauksiin. Putkivirtauksissa pyritään laminaarisiin virtauksiin, koska ne ovat tasaisia, hitaita virtaamia ja siten niistä voidaan matemaattisesti määrittää virtauksen suuruus.

Virtaamaa voidaan mitata useilla eri tavoilla. Käytössä on hydraulisia ja elektronisia menetelmiä. Tunnetuin elektroninen mittaussuunnitelma on magneettimittari. Magneettimittari on erittäin tarkka ja luotettava mittari, mutta sen asentaminen vanhoihin pumppaamoihin vaatii pumppaamon saneerauksen sekä tarpeeksi tilaa ja suoraa putkiosuutta ennen ja jälkeen mittarin. Toinen tunnettu elektroninen mittaussuunnitelma on ultraäänimittari. Ultraäänimittari on oikein käytettynä tarkka ja luotettava mittari, ja sitä useimmiten käytetään silloin, kun halutaan tarkkaa virtaamatietoa pumppaamolta, jossa ei ole virtaamamittausta.

Pumppaamoilla astiamittaus on eniten käytetty ja monella pumppaamolla ainoa käytössä oleva mittaussuunnitelma. Jotta astiamittaus tuottaisi oikeita virtaamalukemia, laskentaan tarvittavien parametriarvojen on pidettävä mahdollisimman hyvin paikkaansa. Suurten virtaamien aikaan astiamittaus on usein epätarkka. Nimellistuottomenetelmä perustuu pumppujen nimellistuottoarvoon. Menetelmä on tarkka, mikäli pumput toimivat ilman ongelmia ja todellinen tuotto vastaa nimel-

listuottoa eli käytännössä silloin kun pumpput ovat uusia. Siirrettävillä virtausmittareilla saatavaan virtaamadataan vaikuttaa eniten mittauspaikka.

Virtauksen laatu vaikuttaa silloin, jos virtaus putkistoissa on turbulenttista. Pumpaamon ominaisuuksista suurin tekijä on logiikan toimivuus. Huonosta logiikasta johtuva virtaamadatan luotettavuus voidaan korjata asentamalla pumppaamoon uusi logiikka. Logiikat pyritään vaihtamaan noin viiden vuoden välein.

Tiedonsiirron ongelmat ovat pääasiallinen syy, miksi virtaamadatassa joskus ilmenee selvästi virheellisiä arvoja. Näitä niin sanottuja piikkiarvoja syntyy silloin, kun tiedonsiirrossa tapahtuu katkoja. Kerätty data on katkon aikana yhä olemassa ja logiikka tekee katkon aikana kompromissin, jossa kaikki katkon aikana kerätty data kumuloituu yhteen isoon lukuun. Tiedonsiirtotavan vaihtaminen luotettavampaan tapaan voi vähentää katkoja. Katkot voivat johtua esimerkiksi säästä, maaston muodoista, palveluntarjoajan ongelmista tai sähkökatkoista.

Jos halutaan saada paras mahdollinen virtaamadata yhdeltä pumppaamolta, niin siihen tarvitaan suuria investointeja. Luotettavan virtausmittarin asentaminen vanhoihin pumppaamoihin ei onnistu ilman pumppaamon saneerausta tai erillisen mittarikaivon rakentamista. Periaatteessa olisi mahdollista asentaa näihin pumppaamoihin ultraäänimittarit, mutta siinäkin keinossa on rajoituksensa. Näissä pumppaamoissa on tyydyttävä astiamittauksen tai pumppujen nimellistuottoarvoihin. Nimellistuottoarvolaskenta on tarkempi, mutta sen tarkkuus pienenee pumpun ikääntymisen myötä. Laitokset tekevät tarkastuskäyntejä pumppaamoihin tarkastukseen järjestelmien ja pumppujen toiminnan. Samalla kertaakaan voidaan tehdä muutoksia tarkentamaan pumppaamolta saatavaa virtaamadataa.

Lähteet

ABB Oy, 2011. Pehmökäynnistinopas. [Verkkodokumentti]. Viitattu 17.11.2015

Saatavissa:

https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf.

Emerson Process Management 2009, Coriolis- massvirtausmittarin esittely. [Verkkosivu]. Saatavissa:

<http://www3.emersonprocess.com/micromotion/tutor/finnish/tutor-learningobjectives.html>.

Flexim Instruments UK Ltd, Flexim Fluxus F601-Technical Specification. [Verkkodokumentti]. Viitattu 2.7.2015. Saatavissa:

<http://www.flexim.com/en/download/public/specs?device=f+601>.

Grady, A. 2006. Precision Signal-Processing and Data-Conversion ICs for PLCs Now Have More Performance at Less Power, Size, and Cost. [Verkkolehti]. Vol. 40-08. Viitattu 17.11.2015. Saatavissa:

<http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/40-08/plc.html>.

Hamill, L. 2001. Understanding Hydraulics. Second Edition. London, England: School of Civil and Structural Engineering, University of Plymouth. ISBN 978-0-333-77906-4.

Hammer, M. J. & Hammer, M. J. Jr. 2008 Water and Wastewater Technology, Sixth Edition. ISBN 0-13-159965-8.

Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut 2015, www-sivu. Viitattu 9.9.2015. <https://www.hsy.fi/fi/tietoa-hsy/Sivut/default.aspx>.

Hofmann, F. 2003. Fundamental principles of Electromagnetic Flow Measurement, 3rd Edition, Dulsburg, Germany: Krohne Messtechnik GmbH & Co. KG. 7.02338.22.00. [Verkkodokumentti]. Viitattu 18.11.2015. Saatavissa: http://cdn.krohne.com/dlc/BR_MID_en_72.pdf.

Jalonen T. 2012. Mallipumppaamoiden automaatioselostus Finnish Consulting Group Oy. (sähköinen)

Kajaanin Vesi, Labkotec Oy 2008. Kajaanin veden virtausmittausprojekti: Siirrettävillä virtausmittareilla tarkka kuva viemäriverkoston tilanteesta. [Verkkodokumentti]. Viitattu 25.8.2015. Saatavissa: [http://www.labkotec.fi/sites/default/files/Kajaani_artikkeli%20\(1\).pdf](http://www.labkotec.fi/sites/default/files/Kajaani_artikkeli%20(1).pdf).

Karttunen, E. 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus ja RIL. 207 s. ISBN 952-13-0407-3 (sähköinen)

Karttunen, E. 2003. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL 124-1, Vesihuolto I, ISBN 951-758-503-3

Karttunen, E. 2004. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL 124-2, Vesihuolto II, ISBN 951-758-438-5

Kukkonen, A. 2002. Virtausmittausmenetelmiä. Automaatioseura. [Verkkodokumentti] Julkaisutunnus: 4.1.2.04. Saatavissa: http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/4_1_2_04.pdf

Korhonen J. 2007. Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki. ISBN 978-952-11-2935-3 (sähköinen).

Oravainen, R. 1999. Opasvihkonen vesistötulosten tulkitsemiseksi havaintoesimerkein varustettuna. Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys ry. [Verkkodokumentti]. Viitattu 19.11.2015. Saatavissa <http://www.kvvy.fi/opasvihkonen.pdf>.

Pöyry Oy, Haukiputaan Vesi, Limingan Vesihuolto Oy, Ervastianrannan Keskuspuhdistamo Oy 2011. Siirtoviemäreiden virtausmittaus selvitys. [Verkkodokumentti]. 16WWE0549. Viitattu 25.5.2015. Saatavissa: http://www.vvy.fi/files/1589/Siirtoviemarien_virtausmittaus selvitys_raportti.pdf

Quevauviller P., Thomas, O., Van Der Beken, A. 2006. Wastewater Quality Monitoring and Treatment, West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 978-0-471-49929-9 (sähköinen).

Saarinen, P. 2014. Jätevedenpumppaamon käyttöönottoprosessin kehittäminen. [Verkkodokumentti]. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. [Viitattu 5.6.2015.] Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/77176>.

Sengupta, A. Flow Measurement Techniques, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Bombay, 2006. Saatavissa: <http://www.leb.eei.uni-erlangen.de/winterakademie/2006/result/content/course01/pdf/0107.pdf>.

RIL, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, julkaisu RIL 237-1-2010, Vesihuoltoverkkojen suunnittelu, Perusteet ja toiminnallisuus, ISBN 978-951-758-526-2.

Väyrynen, J. 2015 Viemäriverkon vuotovesimäärien selvitys hyödyntäen pumpaamotietoja, Laukaan kunta. [Verkkodokumentti]. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu, Kuopio. [Viitattu 1.10.2015]. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/98061>.

Walski, T., Barnard, T., Harold E., Merritt L., Walker, N. Whitman, B. 2007. Wastewater Collection System Modeling and Design. Exton, Pennsylvania, USA: Bentley Institute Press. ISBN 978-1-62870-949-0 (sähköinen).

Wirzenius, A. 1978. Keskipakopumput. 3. painos, Tampere: Kustannusyhdytymä. ISBN 951-9316-01-9.

Haastattelut ja julkaisemattomat tutkimukset

Antikainen, Jarmo 2015 Suunnittelujohtaja, Finnish Consulting Group Oy, Opastinsilta 34, 006100 Helsinki. Haastattelu 12.10.2015.

Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut, Pumppaamolaatu maaliskuu 2015- Exceltaulukko. Laatinut Perttu Saarinen.

Saarinen, P. Vesihuolto-insinööri & Lukkarinen, T. Automaatioinsinööri 2015 Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut, Helsingin Viikinmäen Jäteveden puhdistamo, Hernepellontie 22-24 00560 Helsinki. Haastattelu 13.10.2015.

Saarinen, P. 2015 HSY, vastauksia 4.11.2015.

Stenberg, J. 2015 Liiketoimintajohtaja, Insta Automation Oy, Vantaan Technopolis, Teknobulevardi 3-5, 01530 Vantaa. Haastattelu 25.9.2015.

Pekko, Timo verkostopäällikkö & Lukkarinen, Markus, laitosmestari 2015 Hyvinkään Vesi, Hyvinkään Veden varikko, Kerkkolankatu 38 05800 Hyvinkää. Haastattelu 3.9.2015.

Tutustumiskäynnit Jokivarren, Latokartanon ja Piispankyläntien pumppaamoille, 2.7.2015. Opastajana Perttu Saarinen, Vesihuolto-insinööri, HSY.

Liitteet

Lämpötila (°C)	Tiheys (kg/m ³)	Viskositeetti (10 ⁻³ kg/ms)	Lämpötila (°C)	Tiheys (kg/m ³)	Viskositeetti (10 ⁻³ kg/ms)
0	999,868	1,7921	25	997,077	0,8935
1	999,927	1,7311	26	996,816	0,8736
2	999,968	1,6736	27	996,545	0,8544
3	999,992	1,6192	28	996,265	0,8359
4	1000,000	1,5677	29	995,976	0,8180
5	999,992	1,5188	30	995,678	0,8007
6	999,968	1,4723	31	995,371	0,7840
7	999,930	1,4281	32	995,056	0,7679
8	999,876	1,3860	33	994,732	0,7523
9	999,809	1,3459	34	994,401	0,7372
10	999,728	1,3077	35	994,061	0,7225
11	999,633	1,2712	36	993,714	0,7084
12	999,525	1,2362	37	993,359	0,6946
13	999,404	1,2029	38	992,996	0,6813
14	999,271	1,1709	39	992,626	0,6685
15	999,127	1,1403	40	992,250	0,6560
16	998,971	1,1109	41	991,866	0,6438
17	998,803	1,0828	42	991,468	0,6321
18	998,624	1,0558	43	991,071	0,6207
19	998,435	1,0298	44	990,662	0,6096
20	998,234	1,0049	45	990,251	0,5988
21	998,023	0,9809	46	989,820	0,5884
22	997,802	0,9578	47	989,397	0,5782
23	997,570	0,9356	48	988,964	0,5683
24	997,329	0,9142	49	988,516	0,5587
25	997,077	0,8935	50	988,068	0,5494

Liite 1. Veden tiheys ja viskositeetti paineessa 101,325 kPa. (Termodynamiikan ja lämmönsiirto-opin taulukoita, raportti 136, Sovelletun termodynamiikan laitos, Aalto-yliopisto)